

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE PHYSIKALISCHEN GRUNDLAGEN,
HISTOLOGISCHEN UND HISTOCHEMISCHEN VERÄNDERUNGEN
BEI DER ZAHNFLEISCHSTICHELUNG MIT DER DIATHERMIENADEL

von

IRENE THIELEMANN

1964

Aus der Konservierenden Abteilung (Leitung: Prof. Dr. J. Kluczka)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
(Direktor: Prof. Dr. Dr. M. Herrmann)

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE PHYSIKALISCHEN GRUNDLAGEN,
HISTOLOGISCHEN UND HISTOCHEMISCHEN VERÄNDERUNGEN
BEI DER ZAHNFLEISCHSTICHELUNG MIT DER DIATHERMIENADEL

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

IRENE THIELEMANN

aus Frankfurt/Main

MAINZ 1963

Dekan: Professor Dr.Dr. K. Wagner
Referent: Priv.Do. Dr.Dr. P. Riethel
Korreferent: Professor Dr. J. Kluczka
Tag der mündl. Prüfung: 3. Februar 1964



Gesamtherstellung: Ditters Bürodienst, Mainz
Augustinerstraße 64-66

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. Einleitung und Problemstellung	1
II. A. 1) Definition der Diathermieströme	4
2) Gegenüberstellung der Hochfrequenzerzeugung durch Funkenstreckenapparate und durch das benutzte Röhren- gerät	4
3) Physikalische Grundlagen zur Temperaturentstehung durch Diathermie im Gewebe und Überlegungen zur Temperaturabschätzung	8
4) Eigene Versuche zur Ermittlung der Temperaturhöhe und -verteilung	19
B. 1) Histologischer Aufbau der Papille	24
2) Vorliegende Untersuchungen über Gewebeveränderungen nach Verbrennungen und Diathermieschnitten	25
3) Eigene histologische Untersuchungen	28
a) Technisches Vorgehen bei der Stichelung und Färbung	28
b) Morphologische Untersuchungen	32
α) Färberische Änderungen	33
β) Strukturelle Veränderungen	34
C. Histochemische Untersuchungen	39
1) Änderung der Doppelbrechung	39
2) Änderung der Primärfluoreszenz	41
3) Überprüfung auf saure und neutrale Mucopolysaccharide	43
III. Kritische Betrachtung der Untersuchungen und ihrer Ergebnisse ..	45
IV. Zusammenfassung	47
V. Literaturverzeichnis	49

I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Zahnfleischstichelung mit der Diathermienadel - Galvanokauterisation oder Ignipunktur genannt - ist eine Methode zur Lokalbehandlung der Parodontopathien. Allen gemeinsam ist der "marginale Beginn und das apikalwärts gerichtete Fortschreiten", der Parodontopathia superficialis fehlt aber noch "das Merkmal der primären Progredienz" (Mathis, H. (1948, S.79)). Da nach Auffassung Weskis die Ätiologie der Parodontose zwei Faktoren hat, einen exogenen lokalen und einen endogenen konstitutionellen (zit.n. Rumpel, C. (1929, S.I)), gliedert sich die Parodontosetherapie in eine Lokal- und Allgemeinbehandlung. Das Ziel der Lokalbehandlung sowohl der Parodontopathia inflammata als auch der Parodontopathia mixta ist neben der Beseitigung aller lokal irritierender Ursachen die Beseitigung von Zahnfleischtaschen, denn auch die oberflächliche Entzündung, die beim Bestehenbleiben der Taschen immer vorhanden ist, "führt nun infolge der organhaften Beschaffenheit des Parodonts selbst bei nur geringgradiger Ausprägung, ..., zu Folgewirkungen in den übrigen Anteilen des Parodonts..." (Mathis, H. (1948, S.103)).

Wenn man sich der Meinung von Gottlieb und Orban anschließt, daß bei einer entzündungsbedingten Loslösung des Epithels von seinem physiologischen Ansatzpunkt eine "Restitutio ad integrum" nicht erfolgen kann, hat man zwei Möglichkeiten, die Taschen zum Verschwinden zu bringen. Entweder man schneidet sie weg, wie es die chirurgische Methode vorsieht, oder man versucht durch die konservative Methode, die sogenannte Leichttherapie, eine starke Narbenbildung der Gingiva zu erreichen, die sich dadurch wieder fest der Zahnoberfläche anlegt, und die Tasche als möglichen Retentionsort praktisch verschwinden läßt. Ein Vorteil dieser Methode ist neben dem kosmetisch besseren Aussehen die geringe Bereitschaft des Narbengewebes zu erneuter entzündlicher Veränderung. Die narbige Kontraktion der Gingiva erreicht man durch eine Taschenkürettage, durch ätzende Medikamente oder durch Setzen von punktförmigen, lokalen Verbrennungen durch eine Zahnfleischstichelung mit dem Thermokauter oder der Diathermienadel (zit.n. Fischer, C. H. (1955, S.590 u. 598)).

Bevor wir zu den theoretischen Überlegungen und den Untersuchungen übergehen, erscheint es interessant, sich kurz mit der Geschichte der Diathermie, ihrer Anwendung in der Zahnheilkunde und den darüber vorliegenden Untersuchungen sowie der Geschichte der Zahnfleischstichelung zu beschäftigen.

In der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts erzeugte der serbische Physiker Nicola Tesla (1856-1943) physiologisch gefahrlose, hochfrequente Ströme, die sogenannten Teslaströme. Ihre Wärmeentwicklung im menschlichen Körper war für Tesla eine unangenehme Nebenerscheinung, wurde aber 1892 von dem französischen Physiologen d'Arsonal für Heilzwecke empfohlen. R. v. Zeyneck wandte diese Ströme 1898 zur gleichmäßigen Durchwärmung des Körpers an und nannte diese Methode Thermopenetration. Die klinische Erprobung und Veröffentlichung durch Vorträge in Wien fand aber erst in den Jahren 1905 bis 1908 statt, so daß F. Nagelschmidt die Entdeckung zur gleichen Zeit noch einmal machen konnte und seine Methode Diathermie nannte.

Anfangs der zwanziger Jahre führte Klein (Wien) die Diathermie zur Wurzelbehandlung in der Zahnheilkunde ein, aber erst durch Veröffentlichungen von Sturm-Reichenberg kam es 1927 zu einer weiteren Verbreitung (zit. n. Kowarschik, J. (1928, S.2-5), Henseler, H. u. Prinz, H. H. (1934, S.9) und Ebers, H. (1936, S.1-3)).

In den folgenden Jahren wurde die Diathermie in der Zahnheilkunde neben der flächenhaften Durchwärmung von Teilen des Kopfes, zur Sterilisation von Wurzelkanälen, Koagulation der Pulpa, Zahnfleischkoagulation, Blutstillung, Desensibilisierung von Zahnhälsen und zu kleineren chirurgischen Eingriffen wie Gingivektomie und elektrische Kürettage der Zahnfleischtaschen gebraucht (zit. n. Immenkamp, A. (1932, S.577) und Flohr, W. (1929, S.1674)).

Es blieb nicht aus, daß sich in dieser Zeit die Arbeiten für und wider die Anwendung auf diesen verschiedenen Gebieten häuften, besonders, da die Dosierung ungenau und praktisch der Erfahrung überlassen bleiben mußte, wie später noch dargelegt werden wird. Nach diesen zum Teil erbitterten Auseinandersetzungen zu Beginn und um die Mitte der dreißiger Jahre wurde es, literarisch gesehen, still um die Diathermiebehandlung, obwohl sie sich in der Praxis durchsetzte. Erst nach dem zweiten Weltkrieg wurde die Diathermieanwendung besonders bei der Behandlung der Parodontopathien neben anderen erprobten Methoden - wieder erwähnt (Mathis, H. (1948, S.316), Harndt, E. (1950, S.130), Hyder, Ch. (1959, S.210), Heiß, J. (1951, S.1290), Raida, C. (1953, S.33), Kluczka, J. (1955, S.295), Rateitschak, K. (1958, S.673), Coolidge, F. and Hine, M. (1958, S.299) und Parma, C. (1960, S.180)).

In der Parodontoseleichttherapie wurde der Diathermiestrom mittels Nadel-, Schlingen- oder bipolarer Elektrode zur Koagulation der entzündlichen Granulationen in der Taschentiefe, Zerstörung der Tasche selbst durch Koagulation oder elektro-chirurgische Abtragung, sowie zur Stichehlung des Zahnfleisches benutzt.

Aus den dreißiger Jahren liegen Untersuchungen mit den alten Funkenstreckenapparaten vor über die Gewebeveränderungen nach Funkenschnitt und flächenhafter Koagulation an parenchymatösen Organen (Kückens, H. (1930), Kuntzen, H. u. Vogel, W. (1931) u. a.) und in der Mundhöhle (Immenkamp, A. (1931, 1932), Orban, B. (1933), Eisenlohr (1932), Blunck, F. A. (1935) u. a.). Außerdem wurden Versuche unternommen, um zu einer genaueren Dosierung zu kommen (Gebbert, A. (1931, S.1286)), und um einen Überblick über die entstehenden Temperaturen nicht nur bei der flächenhaften Koagulation (Keyser, F. (1931, S.42) und Schnittführung (Kückens, H. (1930, S.700), Keyser, F. (1931 S.42), sondern auch bei der Wurzelbehandlung zu bekommen (Falkenstein, E. (1931, S.1164), Flohr, W.u.E. (1930, S.57) und Henseler, H. (1929, S.19)).

Über die bei der Zahnfleischstichelung auftretenden Temperaturen, deren Verteilung sowie über die histologischen Veränderungen nach der Stichelung liegen aber unseres Wissens keine Untersuchungen vor, obwohl gerade die Ignipunktur der Gingiva zu den weniger eingreifenden und häufig angewandten Maßnahmen in der Therapie der Parodontopathien der täglichen Praxis gehört.

Die Idee, das entzündete Zahnfleisch durch Stichelung zu einer narbigen Schrumpfung zu bringen, wodurch es sich wieder fest dem Zahn anlegte und für Rezidive weniger anfällig war, ist schon alt. So sollen die Babylonier und Ägypter bei der Zahnfleischbehandlung neben der Zahnfleischresektion auch das heiße Brandeisen gekannt haben (Saghirian, L. M. (1949, S.1552)).

Hildegard von Bingen benutzte zur Stichelung einen Brombeerstachel (Riethe, P. (1950, S.85)). Im 18. Jahrhundert schlug Fauchard zur Therapie der Parodontopathien die Koagulation des Zahnfleischrandes mit glühenden Eisen vor, und Bourdet benutzte dazu die "pointes de feu". (Trefz, H. (1951, S.3)). Demselben Zweck diente später der Paquelinische Brenner und der Thermokauter. Die Zahnfleischstichelung mit der Diathermienadel ist also eine alte Behandlungsart im modernen Gewand.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine Untersuchung über die Wirkungsweise dieser Behandlung durchzuführen. Sie beinhaltet eine Darstellung der Diathermiestromwirkung sowie die Untersuchung der entstehenden Temperaturen und der dadurch hervorgerufenen Gewebeveränderungen.

Der folgende physikalische Teil mit den Überlegungen zur Temperaturentstehung und den Versuchen zur Temperaturabschätzung wurde deshalb eingeschoben, weil es unserer Meinung nach einseitig ist, nur die histologischen Veränderungen zu beschreiben, ohne sich Gedanken über die Ursache ihrer Ent-

stehung zu machen. Des Verständnisses halber sind Grunddefinitionen aufgenommen worden, um die speziellen Folgerungen ableiten zu können.

Da die bisher vorliegenden Untersuchungen meistens an Präparaten gemacht wurden, die mit Funkenstreckenapparaten behandelt worden waren, wurde versucht, an Hand des Vergleiches zwischen der Wirkungsweise der Funkenstrecken- und Röhrenapparate klarzustellen, ob die Ergebnisse auf die histologischen Befunde nach Röhrenapparatbehandlung ohne weiteres übertragbar sind.

II. A. 1) Definition der Diathermieströme

Unter Diathermieströmen versteht man Wechselströme mit hoher Frequenz

$$\nu = 300 \text{ kHz bis } 1 \text{ MHz}$$

und hoher Spannung (bis zu einigen Hundert Volt). Heute ist für Diathermiegeräte - mit Ausnahme einiger Sondergeräte für Spezialzwecke - nur die Frequenz von $\nu = 1,75 \text{ MHz}$ freigegeben, da die Wellenlänge der Diathermieströme im oberen Bereich der Mittelwelle des Rundfunks liegt und somit internationalen Abmachungen unterworfen ist. "Man wählte die Frequenz so hoch, daß faradische Reizwirkungen mit Sicherheit vermieden werden, aber nicht höher, damit man die mit steigender Frequenz zunehmenden kapazitiven Nebenschlüsse ... weitgehend ausschließen ... kann" (Müller, O. u. Schliephake, E. (1961, S.143)).

II. A. 2) Gegenüberstellung der Hochfrequenzerzeugung durch Funkenstreckenapparate und durch das benutzte Röhrengerät

Alle vor dem zweiten Weltkrieg über Diathermie gemachten Untersuchungen, die auch in dieser Arbeit verwendet werden, wurden mit dem "klassischen Diathermiegerät", dem Funkenstreckenapparat, durchgeführt, dessen Prinzip folgendes ist: (siehe Abb.1)

Ein elektronischer Schwingkreis, der aus einem Kondensator C und einer Induktivität L_1 besteht, wird durch die Funkenentladung einer Funkenstrecke F leitend geschlossen, so daß er Schwingungen ausführen kann, deren Frequenz von der Kapazität und Induktivität dieses Kreises abhängt; denn die Frequenz eines elektrischen Schwingkreises ist:

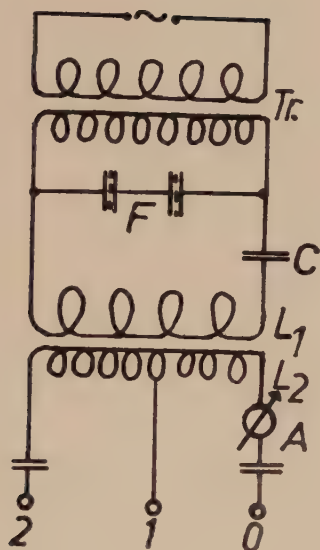


Abb. 1 : Schaltschema eines
Funkenstreckenapparates
(Umzeichnung nach Laqueur, A. -
Müller, O. (1951, S. 120))



Buchsen für:
 Fulguration
 Kkagulation
 Anschluß der neutralen Elektrode

Abb. 2: Erbтом K 25 der Firma C. Erbe / Tübingen

$$(1) \quad \gamma = \frac{1}{2u \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Jede Funkenentladung ermöglicht eine gedämpfte Schwingung, deren Dauer von den Verhältnissen der Funkenstrecke abhängt (Ionisation, Kühlung). Wenn bei einer Schwingungsdauer von $1/50\,000$ sec 20 Einzelschwingungen auftreten, "so würde die Frequenz der Schwingungen, falls sie ununterbrochen andauern würden, $50\,000 \times 20 = 1$ MHz betragen" (zit. n. Laqueur, A. - Müller, O. (1951, S.118)).

Durch die Wiensche Löschfunkenstrecke ist es möglich, 10 000 bis 50 000 Einzelentladungen pro Sekunde zu erhalten. So entsteht ein diskontinuierlicher Wechselstrom hoher Frequenz (Abb.3a). Die Schwingungen dieses primären Schwingkreises = Erregerkreis werden induktiv (L_1 auf L_2) auf den sekundären Schwingkreis = Patientenkreis übertragen. Zur Messung des Behandlungsstromes dient ein Hitzedrahtstrommesser A.

An den Funkenstreckenapparaten kann durch Veränderung des Abstandes der Platten der Funkenstrecke die Funkenzahl und damit die in der Zeiteinheit übertragene Energie eingestellt werden; denn jeder Funke führt dem Körper eine gewisse Leistung zu. Die Leistungsabgabe der Apparate kann außerdem durch Stromstärken- und Spannungssteuerung variiert werden. Die Stromstärke wird durch Veränderung der Kopplung zwischen Primär- und Sekundärkreis reguliert, die Spannung durch Abgreifen der ganzen Spannung (Buchse 2) oder einer Teilspannung (Buchse 1) von der Sekundärspule. Bei den Funkenstreckenapparaten hat man also drei Regulierungsmöglichkeiten.

Die heutigen Diathermiegeräte, die gemeinhein nur noch zur Elektrochirurgie und nicht mehr zur Körperdurchwärmung benutzt werden, was nur noch von Kurzwellenapparaten durchgeführt wird, sind Röhrengeräte. Bei den Funkenstreckengeräten wirkt der überschlagende Funke als Schalter, der durch Öffnen und Schließen des Schwingkreises diesen steuert. Bei den Röhrengeräten wird die Hochfrequenz auch durch einen Schwingkreis erzeugt, nur die Steuerung dieses Kreises geschieht durch eine Röhre. Der Vorteil der Funkenstreckengeräte besteht in ihrer guten Koagulationswirkung, die auch heute noch zu Spezialzwecken ausgenutzt wird. Sie beruht auf der niedrigen Funkenzahl von 6-8000 Funken pro Sekunde, auf die die Funkenstreckengeräte eingestellt werden können. Ihr Nachteil liegt darin, daß der Funkenschnitt immer etwas koaguliert ist, auch wenn man die höchsterreichbare Funkenzahl von 30-50 000 Funken pro Sekunde benutzt. Der eigentliche Grund, warum sie bis auf Ausnahmen nicht mehr benutzt werden dürfen, ist aber der, daß ein Funkenstreckenapparat immer als Sender eines breiten Spektrums,

nicht einer genau festgelegten Frequenz wirkt, was bei der heutigen Bedeutung der Nachrichtentechnik untragbar ist.

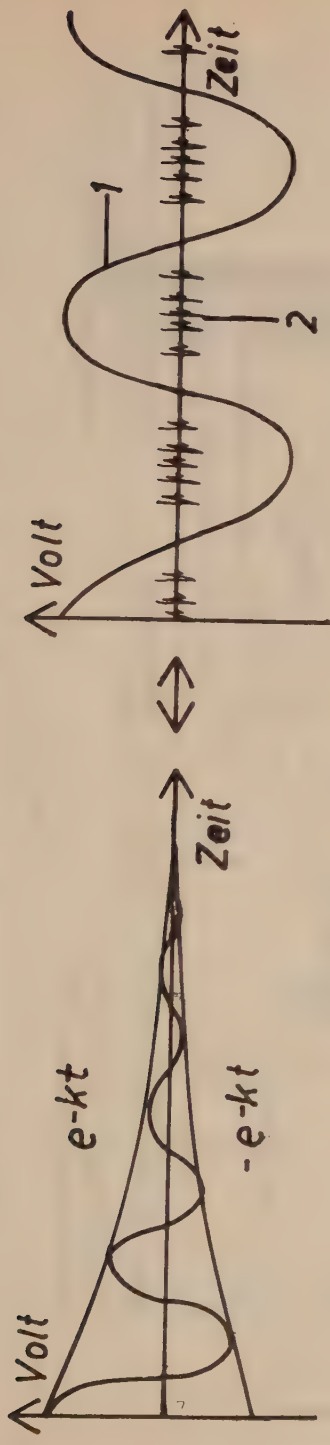
Das für die Untersuchungen dieser Arbeit benutzte Diathermiegerät Erbotom K 25 der Firma C. Erbe, Tübingen/Württ. (s. Abb. 2) ist ein Röhrengerät für die Klein-Chirurgie. Der Röhrengenerator ist eine Pentode, deren Anodenspannung nicht gleichgerichtet ist, sondern es liegt die transformierte Netzspannung an der Anode. Aus diesem Grund liefert das Gerät einen mit Netzfrequenz (50 Hz) sinusförmig amplitudenmodulierten Hochfrequenzstrom von $\approx 1,75$ MHz während der Dauer von $1/100$ sec., worauf eine $1/100$ sec. lange Pause folgt (Abb. 3b). Das Gerät hat nach Angaben der Fabrik eine Nutzleistung von maximal 25 Watt. Der Apparat besitzt wie die meisten neueren kleinen Diathermiegeräte kein Amperemeter, die Dosierung bleibt der Erfahrung überlassen, da es nicht möglich ist, genaue Angaben über die von dem behandelten Gewebe aufgenommene Leistung zu machen. Als grober Anhalt trägt der Dosierungsknopf, der über einen Drehpotentiometer den Stromfluß reguliert, zehn Skalenteile.

Die Methode der Hochfrequenzerzeugung des Erbotom K 25 sei anhand des prinzipiellen Schaltplanes erläutert (Abb. 4).

Der die Hochfrequenz liefernde Schwingkreis besteht aus der Kapazität C_3 und der Induktivität L_1 . Er liefert eine Frequenz von $\nu = 1,75$ MHz. Zur Steuerung des Schwingkreises ist die mit ihm in Reihe geschaltete Röhre Rö nötig, zu deren Funktionieren folgende Einrichtungen notwendig sind:

Die Spannung des Netzstromes (220 V) liegt auf der einen Seite des Transformators Tr. Auf der anderen Seite wird einmal von der Heizwicklung die Spannung für die indirekte Heizung der Kathode K abgegriffen (Heizstromkreis), und weiterhin von einer zweiten Wicklung die Anodenspannung (Anoden- oder Röhrenstromkreis). Diese liegt über die Spule L_1 und die Drossel Dr_1 an der Anode. Beim Schließen des Schalters Sch_1 wird die Röhre zuerst indirekt vorgeheizt, bevor durch den Fuß- oder Zeituhrschalter Sch_2 der Anodenstromkreis geschlossen wird.

Durch Kopplung des Schwingkreises über den Kondensator C_2 mit dem 1. Gitter der Röhre (Steuergritter) wird die am Schwingkreis liegende Spannung gesteuert, damit der Kondensator C_3 zum Erzielen einer ungedämpften Schwingung immer wieder voll aufgeladen wird. So wird die bei den Schwingungen durch Ohmsche Widerstände oder durch Auskopplung auf den Patientenstromkreis dem Schwingkreis verlorengegangene Energie nachgeliefert. Die Anodenspannung ist bei dem Erbotom K 25 nicht gleichgerichtet. Ihr Verlauf folgt



Gedämpfte Schwingung

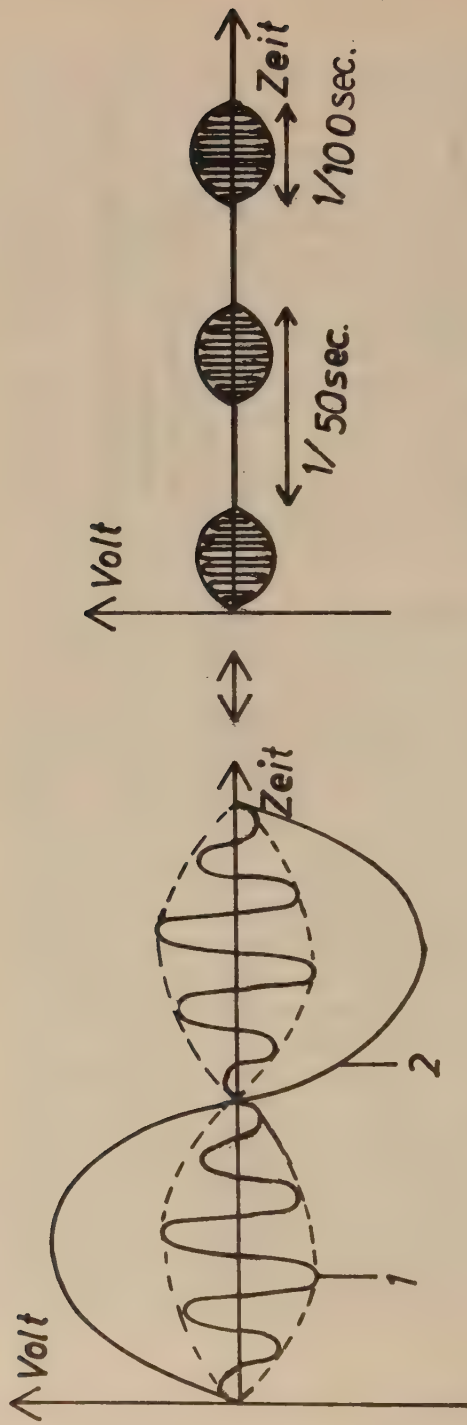
Funkenstreckenapparat
mit Löschfunkenstrecke

Diskontinuierlicher Wechselstrom
hoher Frequenz

1 angelegte Spannung an den
Schwingkreis

2 Schwingung von 1/50 000 sec. Dauer

Abb. 3 a



Ungedämpfte modulierte Schwingung Röhrenapparat

1 Trägerfrequenz von 1,75 MHz

2 Modulationsfrequenz von 50 Hz

Der von Erbotom K 25 gelieferte Strom, wie er sich auf einem Oszillographen darstellt

Abb. 3 b

Abb. 3 : Gegenüberstellung des wirksamen Stromes bei

a) Funkenstrecken- und

b) Röhrenapparaten

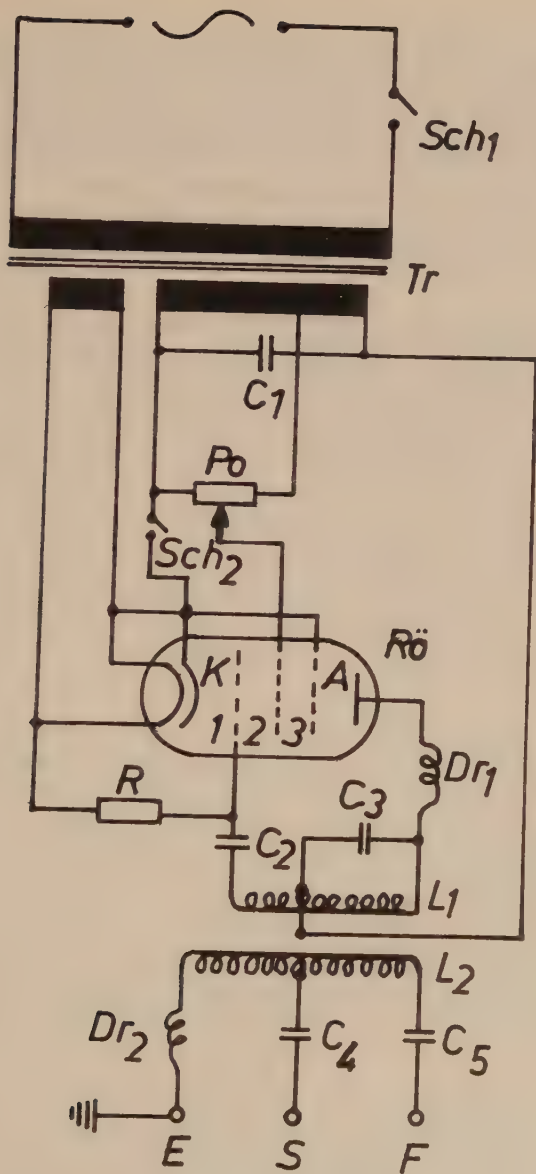


Abb. 4 : Prinzipieller Schaltplan des Erbotom K 25

dem der Netzspannung, ist also sinusförmig. Da jede Röhre als Gleichrichter wirkt, also nur bei positiver Anodenspannung Strom durchläßt, wird dem Schwingkreis nur während einer halben Periode der Wechselfspannung, d.h. immer nur während einer $1/100$ sec., Energie nachgeliefert. Deshalb sind - wie schon erwähnt wurde - die vom Apparat gelieferten hochfrequenten Schwingungen immer nur während einer $1/100$ sec. vorhanden und setzen dann für eine $1/100$ sec. aus, wie auf einem Oszillographen dargestellt werden konnte (Abb.3b).

Bei den Funkenstreckengeräten wurde die Spannung im Patientenkreis durch verschieden starke Kopplung der Patientenkreisspule und der Schwingkreisspule gesteuert. Bei den Röhrengeräten ist diese Kopplung fest eingestellt. Als Regelung bei den Röhrengeräten wird in der Röhre das zweite Gitter (Regelgitter) benötigt. Es wird mit Hilfe des Drehpotentiometers P_0 auf mehr oder weniger hohes negatives Potential gegenüber der Anode gelegt. Damit wird der Widerstand der Röhre in Durchlaßrichtung geregelt und dadurch der Spannungsabfall in ihr. Bei einem höheren Spannungsabfall an der Röhre ist der Spannungsabfall am Schwingkreis geringer. Der Kondensator C_3 des Schwingkreises wird also mit einer geringeren Spannung aufgeladen. Dadurch wird die Spannungsamplitude des Schwingkreises und damit die Energie der Schwingung geringer.

Alle weiteren Schaltelemente dienen nur der ordnungsgemäßen Funktion des Gerätes: Der Kondensator C_2 in der Kopplung des Schwingkreises mit dem ersten Gitter der Röhre verhindert, daß die Anodenspannung an diesem Gitter liegt. Ein Kondensator ist nämlich für Hochfrequenzstrom ein sehr geringer, für Niederfrequenzstrom oder Gleichstrom aber ein unendlicher Widerstand. Um zu vermeiden, daß Hochfrequenzspannung auf den Transformator gelangt, sind die Enden der Anodenspannungswicklung des Transformators hochfrequenzmäßig durch den Kondensator C_1 kurzgeschlossen. Der Gitterableitwiderstand R ist für Hochfrequenz ein sehr hoher Widerstand, gleichstrommäßig verbindet er aber das Steuergitter mit der Kathode und verhindert so eine statische Aufladung dieses Gitters.

Die im Erregerkreis erzeugte Hochfrequenz wird induktiv (L_2) auf den Patientenkreis übertragen, der durch die Kondensatoren C_4 und C_5 gegen mitübertragene niederfrequente Hochspannung abgeblockt ist. Man hat an zwei Buchsen (S und F) die Möglichkeit, entweder die ganze Spannung abzugreifen und dadurch eine hohe Leistung zu erhalten, die nötig ist, einen hochohmigen Widerstand zu überbrücken (Buchse F, Fulguration, Dessikation). Oder man benutzt nur die halbe Spannung (Buchse S), wie es zum Schneiden

und Koagulieren bei niederohmigen Widerstand ausreicht. Die dritte Buchse ist für die neutrale Elektrode bestimmt und ist geerdet. Die Drosseln Dr_1 und Dr_2 sind zur Drosselung der "parasitären" Oberschwingungen, die im Fernsehbereich liegen (Schliephake, E. u. Müller, O. (1961, S.93)).

Nach der Beschreibung der Hochfrequenzerzeugung durch ein Röhrengerät ist ersichtlich, daß man bei den Röhrengeräten nur zwei Regulierungsmöglichkeiten hat, im Gegensatz zu den Funkenstreckengeräten mit drei. Die Möglichkeit des Abgreifens der ganzen oder halben Spannung an der Patientenkreisspule ist beiden gemeinsam, auch die Spannungsamplitude der Schwingungen kann bei beiden Apparatypen geregelt werden. Bei den Funkenstreckengeräten kann aber außerdem noch durch Variation der Funkenzahl pro Sekunde eingestellt werden, wieviel von der an den beiden anderen Regulierungseinrichtungen vorgewählten Energie in der Zeiteinheit auf den Körper übertragen werden soll.

II. A. 3) Physikalische Grundlagen zur Temperatur- entstehung durch Diathermie im Gewebe und Überlegungen zur Temperaturabschätzung

Schon bald nach der Verbreitung der Diathermie in Medizin und Zahnheilkunde kam das Bedürfnis auf, genauere Angaben über die bei der Koagulation und Elektrochirurgie anzuwendenden Dosierungen und den dabei auftretenden Temperaturen zu erhalten. Da alles der Erfahrung und dem Fingerspitzengefühl des einzelnen überlassen war, entstanden Streitigkeiten über Methoden, wobei aber niemand genaue Angaben darüber machte, mit welcher Funkenzahl, Spannung, Stromstärke, Elektrodenform, Zeit und Gewebe er gearbeitet hatte.

Die ersten Temperaturmessungen stammen aus dem Jahr 1929. A. Mayer (1929, S.1558) maß an einem Tumörpräparat mit einem Tiefenthermometer die entstehenden Temperaturen beim Funkenschnitt wenige Millimeter am Thermometer vorbei je nach der Zügigkeit der Schnittführung mit 45-55°C und vermutete, daß die Temperatur bei längerer Verweildauer an einer Stelle noch steigen könnte. Besonders interessierten die bei der Wurzelbehandlung mit der Diathermienadel entstehenden Temperaturen, da Alveolarknochen und Periodontium besonders hitzeempfindlich sind. Flohr, W. (1929, S.1678) stellte 1929 mit einem Thermoelement, das gleichzeitig mit der aktiven Elektrode eingeführt wurde, 70-75°C fest. Münzesheimer, F., vermutete, daß bei der Koagulation über 1000°C entstehen, Henseler, H., korrigierte

ihn aber dahingehend, daß 150°C wahrscheinlich nicht überschritten werden (zit. n. Henseler, H. u. Prinz, H. H. (1934, S.144)). Bei keinen bis heute mit Tiefenthermometer oder Thermoelement bei Durchwärmung (Flohr, W.u.E. (1930, S.57)), Schnitt (Mayer, A. (1929, S.1558)), Keyser, F. (1931, S.42)) und Koagulation (Keyser, F. (1931, S.42)) durchgeführten Messungen wurden Temperaturen über 100°C gemessen. Die höchste mit einem Thermoelement festgestellte Temperatur war 87°C . Sie wurde bei der Koagulation unterhalb der Plattenelektrode von 3 cm Durchmesser im Gewebe bei einer Stromapplikationsdauer von 20 sec. während maximaler Einstellung des Funkenstreckengerätes gemessen (Keyser, F. (1931, S.42)). Münzesheimer, F. (1931, S.45,47) erkannte 1931 schon richtig, daß man in unmittelbarer Nähe der Diathermienadel nicht mit einem Thermoelement Messungen ausführen kann - sonst die Methode der Wahl, um in Geweben Temperaturen zu messen -, "denn das metallische Thermoelement wirkt als Elektrode, infolgedessen laufen dort die Stromlinien zusammen und es kommt in der Umgebung des Thermoelementes sofort zu solchen Temperaturen, die erstens den wirklichen Verhältnissen nicht entsprechen und zweitens die Gefahr der Verkochung dieses Gebietes naherücken". "Wenn es auch nicht möglich ist, die Temperaturen exakt ... zu messen, so ist es doch nützlich, sich auf Grund theoretischer Überlegungen Klarheit darüber zu verschaffen, welche Temperaturverteilung sich ergibt. Höchstwahrscheinlich sind die elektrischen Vorgänge ... bei der Hochfrequenzkoagulation sehr komplizierter Natur," und "die Versuchsschwierigkeiten ... sind außerordentlich groß."

Um auf Grund theoretischer Überlegungen einen Überblick über die entstehenden Temperaturen zu erhalten, ist es nötig zu wissen, welche Energien dem Körper zugeführt werden. Diese Berechnung, die wir später noch durchführen werden, ist aber nur möglich, wenn man den genauen Widerstand des Körpers kennt. Die Widerstandsverhältnisse des Körpers sind aber sehr schwer zu übersehen, denn der Gesamtwiderstand R_{ges} setzt sich aus parallel geschalteten Ohmschen R_{Ω} und kapazitiven Widerständen R_C zusammen. Das vereinfachte Ersatzschaltbild des Körpers zeigt Abbildung 5.

In Wirklichkeit liegen die Verhältnisse aber so, daß die Haut an den Stromein- und -austrittsstellen einen sehr hohen Widerstand hat, der sich aus einem hohen Ohmschen und einem kapazitiven Widerstand in Parallelschaltung zusammensetzt. Das Körperinnere hat dagegen einen sehr geringen Ohmschen Widerstand und einen kapazitiven Widerstand, der noch bis zu den Frequenzen der Diathermie so groß ist, daß praktisch aller Strom durch

den kleinen Ohmschen Widerstand fließt. Das bessere Ersatzschaltbild des Körpers ist in Abbildung 6 dargestellt.

Als Ohmscher Widerstand ist der Widerstand definiert, der den Bewegungen von Ladungen entgegengesetzt wird. Der Ohmsche Widerstand eines Leiters ist direkt proportional seinem spezifischen Widerstand ϱ so wie seiner Länge l und umgekehrt seinem Querschnitt q :

$$(2) \quad R_{\Omega} = \varrho \cdot \frac{l}{q}$$

Der kapazitive Widerstand R_C ist abhängig von der Frequenz ν , der angelegten Spannung und der Kapazität C des Kondensators.

$$(3) \quad R_C = \frac{1}{2\pi\nu \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad \omega = 2\pi\nu$$

Wenn man den Körper als parallelgeschalteten Ohmschen und kapazitiven Widerstand betrachtet (Abb. 5), gilt für die Berechnung des Gesamtwiderstandes das zweite Kirchhoffsche Gesetz:

$$(4) \quad \frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_{\Omega}} + \frac{1}{R_C}$$

Der Ohmsche Widerstand ist frequenzunabhängig. Der kapazitive Widerstand wird aber mit steigender Frequenz kleiner (3). Aus der Formel (3) ergibt sich, daß bei Gleichstrom mit der Frequenz 0 der kapazitive Widerstand unendlich ist, der gesamte Strom geht also durch den Ohmschen Widerstand (s. Abb. 5 und 6). Man könnte nun denken, daß man den Ohmschen Widerstand des Körpers mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes aus der angelegten Gleichspannung und dem dann fließenden Strom bestimmen könnte. Das ist aber nicht der Fall, denn bei angelegter Spannung U bildet sich an den Grenzflächen zwischen Körper und Elektroden durch Polarisierung eine Gegenspannung aus. Der gemessene Strom wird also durch die Spannungsdifferenz zwischen der angelegten Spannung und der Polarisierungsspannung bewirkt. Dies täuscht einen zu hohen Ohmschen Widerstand des Körpers vor. Da im allgemeinen der Widerstand des Körpers - wegen der faradischen Reizwirkungen der Wechselströme - mit Gleichspannung gemessen wird, ergibt sich deshalb ohne Berücksichtigung der Polarisierungsspannung ein zu hoher Ohmscher Widerstand (20-50 Kiloohm).

Bei Wechselstrom fällt die Polarisierungsspannung weg. Nun macht sich aber schon der parallelgeschaltete kapazitive Widerstand, besonders der Haut mit ihrer großen Kapazität, bemerkbar. Deshalb ist der bei Wechselstrom erhal-

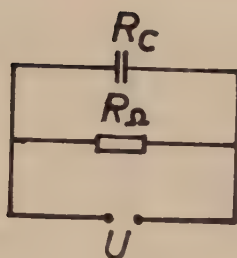


Abb. 5

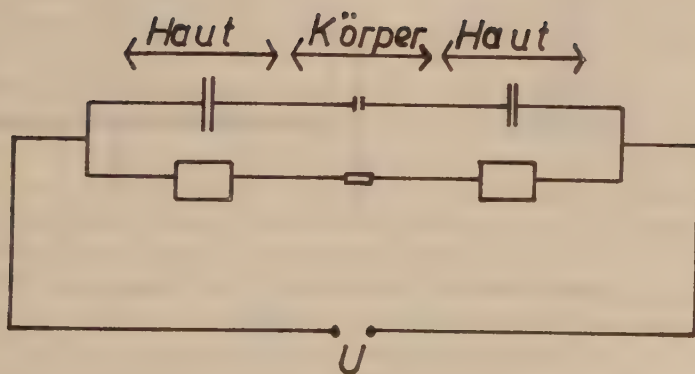


Abb. 6

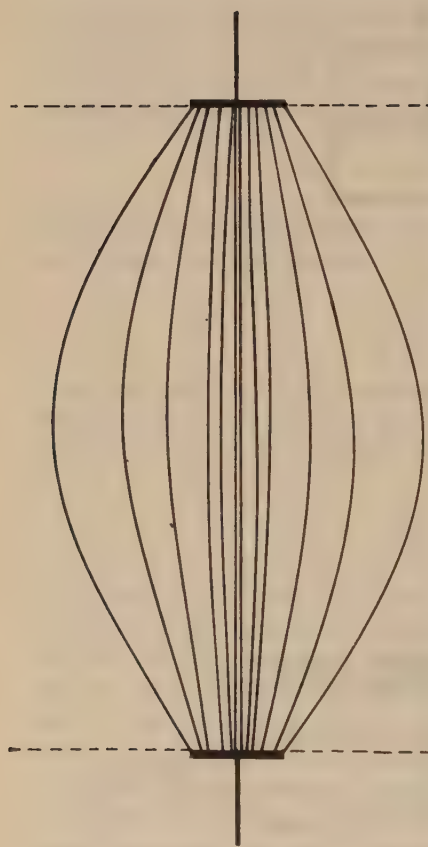


Abb. 7 a

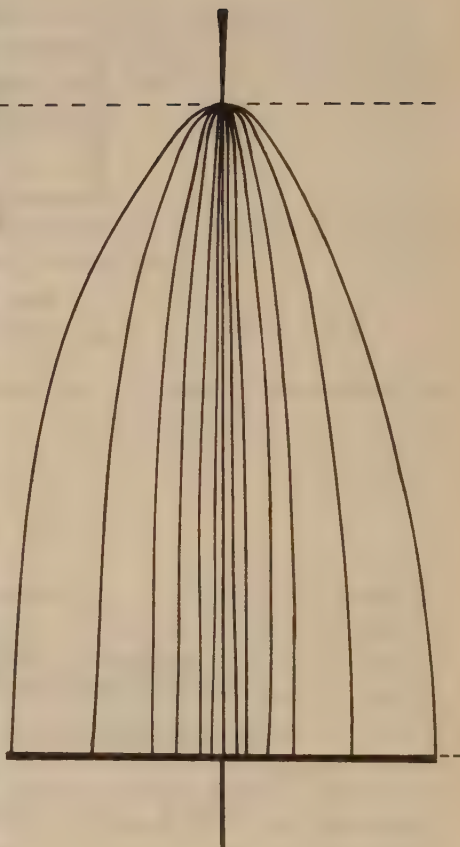


Abb. 7 b

tene Körpergesamtwiderstandswert kleiner als der reine Ohmsche Widerstand des Körpers.

Bei Frequenzen im Bereich der Diathermie wird der kapazitive Widerstand (3) besonders der Haut sehr klein. "Die Haut bildet für diesen hochfrequenten Wechselstrom so gut wie keinen Widerstand mehr, so daß in erster Linie der innere Widerstand des Körpers zur Messung gelangt" (Laquer, A. - Müller, O. (1951, S.221)). Bei Diathermie wirkt das Körperinnere also praktisch als rein Ohmscher Widerstand (Schmidt, W. (1930, S.215)), da der kapazitive Widerstand des Körperinneren noch so groß ist, daß annähernd der gesamte Strom durch den kleinen Ohmschen Widerstand fließt, der sich als solcher beim Stromdurchfluß erwärmt.

Das Prinzip der Erwärmung bei Diathermie durch den Leitungsstrom ist wie bei jedem Ohmschen Widerstand folgendes: Der Leitungsstrom wird durch wandernde Ladungen, in unserem Falle Elektronen, bewirkt. In ihrer Bewegung werden die Elektronen durch andere Moleküle gehemmt und geben an diese kinetische Energie ab. Dadurch wird die Bewegung der Moleküle vergrößert, was man als Erwärmung messen kann.

Eine Erwärmung tritt also nur dort auf, wo Strom fließt, und zwar wird sie dort am größten sein, wo die Stromdichte am größten ist. Der Strom fächert sich im Gewebe auf, da sich die Elektronen abstoßen, auch wenn man zwei gleichgroße Elektroden gegenüberlegt.

Dieses Verfahren wird in Abb.7a gezeigt, wo der Strom durch Stromlinien dargestellt ist.

Deshalb wird die Durchwärmung in der Tiefe - auch ohne Umfließen von Gebieten mit hohem Ohmschen Widerstand - immer geringer sein als an der Oberfläche. Ganz besonders schnell nimmt die Tiefendurchwärmung ab, wenn man, wie bei der Elektrokoagulation, mit einer kleinen indifferenten und einer großflächigen indifferenten Elektrode arbeitet (Abb.7b). Die Tiefenerwärmung ist zwar größer als beim Thermokauter, da bei der Diathermie die Wärme im Gewebe selbst erzeugt und außerdem noch weitergeleitet wird, und nicht wie beim Thermokauter nur von der heißen Thermokauternadel ins Gewebe abgeleitet wird und es oberflächlich verbrennt; aber die Tiefenwirkung ist nicht mit der Tiefenerwärmung der Kurzwellen vergleichbar, obwohl man früher dachte, daß auch der Diathermiestrom eine so große Tiefenwirkung hätte, wie man sie heute nur bei der Kurzwelle gefunden hat.

Die Stromlinien treten praktisch alle an der Nadelspitze konzentriert aus und erzeugen dadurch eine punktförmige Überhitzung, wie sie bei der Koagulation und dem Sprengschnitt ausgenutzt wird. Es ist also den Autoren mehr

beizupflichten, die eine das umgebende Gewebe verhältnismäßig wenig erwärmende Koagulation als Vorteil der Diathermienadel angeben (Ebbers, M. (1936, S.82), Adrion, W. (1930, S.970)) als solchen, die eine größere Tiefenwirkung mit besonderer Reaktion des Gewebes erwarten (Immenkamp, A. (1932, S.577), Saghirian, L. M. (1949, S.1549)). Diese Überlegungen wollen wir weiter unten noch beweisen.

Durch Wärmeleitung und durch aufsteigende Wasserdämpfe werden natürlich die über dem Nadelspitzenbezirk liegenden Gewebsanteile erhitzt, so daß nicht, wie es dem Stromlinienverlauf entspräche, nur ein halbkugelförmiger Gewebsanteil um die Nadelspitze, sondern auch der Zylinder um die Nadel über der erhitzten Halbkugel koaguliert wird (Abb.8 und Abschnitt II A 4).

Bei der Frequenz, wie sie bei der Diathermie verwendet wird, reicht die Kapazität des Körpers und der Erde aus, um bei der Koagulation ohne die zweite, indifferente Elektrode arbeiten zu können. In diesem Fall ist der fließende Strom natürlich nicht so stark wie bei leitend geschlossenem Stromkreis mit beiden Elektroden (Ebbers, M. (1936, S.46)). Danach unterscheidet man ein bipolares (2 Elektroden) und monopolares (1 Elektrode) Verfahren. Bei der bipolaren Anwendung kann man entweder eine Nadelelektrode und eine großflächige indifferente Elektrode benutzen (bipolar uniterminal, in Deutschland üblich, Abb.7b), oder beide Elektroden haben Nadelform und befinden sich in kurzem Abstand voneinander (bipolar biterminal, die in Amerika gebräuchliche Doppelelektrode nach Webb, S. Abb.9). (Wolfsohn, M. D. (1939, S.1294), Ogus, W. J. (1941, S.135-144) und Powers, H. H. (1937, S.337-339)).

Die letztgenannte Methode soll eine genauere Durchführung der Koagulation erlauben, weil sie nur zwischen den zwei Nadeln und dem direkt anschließenden Gebiet stattfindet (Coolidge, F. and Hine, M. (1958, S.299-301)). Zwischen den beiden Nadelspitzen ist wegen der Spitzenentladung eine sehr große Stromliniendichte. So entstehen bei gleicher Stromstärke sehr viel höhere Temperaturen als bei Verwendung einer uniterminalen Nadelelektrode, so daß durch Wärmeleitung auch das Gebiet außerhalb der beiden Nadelspitzen koaguliert wird (Abb.9).

Es steht nun noch die Klärung der Frage offen, von welchen Faktoren die Wärmeentstehung abhängig ist. Diese sind, wie zu Beginn dieses Abschnittes erwähnt wurde:

1. Funkenzahl und Frequenz
2. Spannung und Stromstärke
3. Gewebeart
4. Zeit
5. Elektrodenform

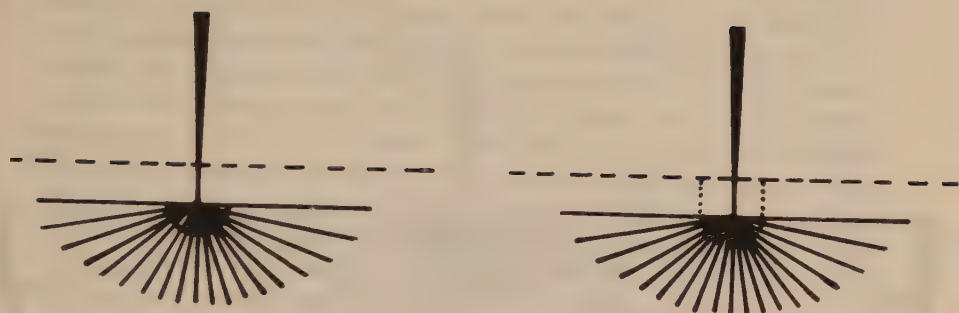


Abb. 8

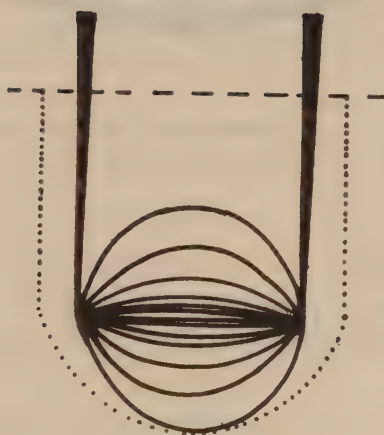


Abb. 9 : ———— Stromlinien
 Koagulationszone

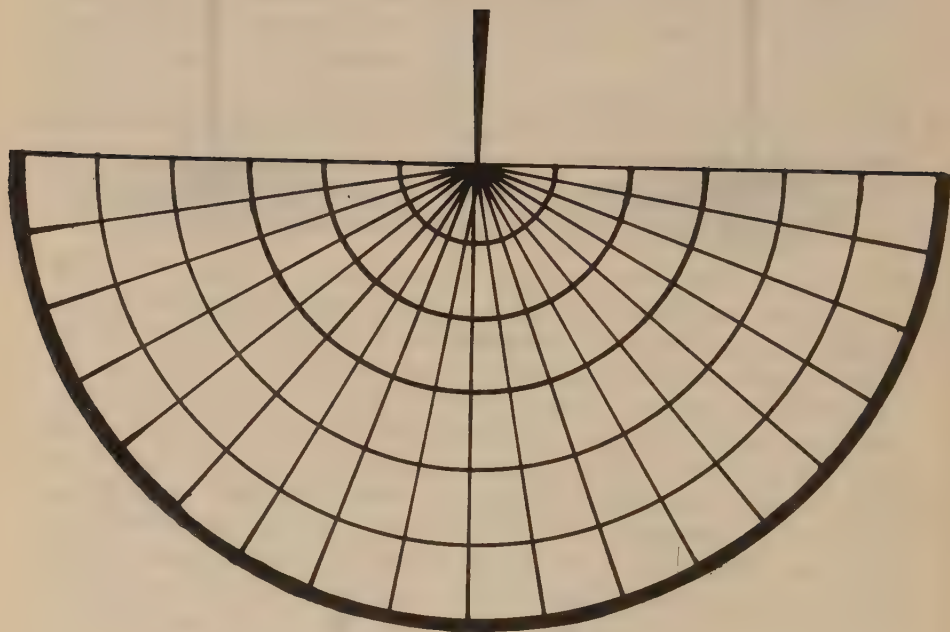


Abb. 10

ad 1: Die Wärmeentstehung ist frequenzabhängig, da je schneller die Elektronen im Feld hin und her wandern, sie desto mehr Moleküle anstoßen und dabei Energie übertragen können. Außer der Frequenz ist es aber bei den Funkenstreckenapparaten noch wichtig, wieviel Funken in der Sekunde erzeugt werden, denn während der Schwingungsdauer der von einem Funken angeregten Schwingung wird dem Gewebe eine bestimmte Energie übertragen. Je schneller die Funken sich folgen, desto mehr Energie wird pro Zeiteinheit übertragen. Dies stimmt mit den Erfahrungen aller Autoren überein (Henseler, H. u. Prinz, H. H. (1934, S.114), Keyser, F. (1931, S.1, 2) u.a.), daß zur Koagulation eine geringe Funkenzahl am besten ist (Eiweiß gerinnt bereits bei 60°C), während zum Hochfrequenzschnitt = Schmelzschnitt = Sprengschnitt = Scharfschnitt eine hohe Funkenzahl erforderlich ist, da durch die schnelle Überhitzung des Zellwassers bis zur Dampfexplosion die Zellen zerrissen werden sollen. Durch die beschränkte Funkenzahl der alten Diathermiegeräte war es nie möglich, soviel Energie in der kurzen Zeit zu übertragen, daß zwar das Wasser an der Berührungsstelle mit der Elektrode explosionsartig zum Kochen kam, aber keine Zeit zur Wärmeabgabe ans Nachbargewebe und dessen Koagulation war. Diese scharfen Schnitte - praktisch ohne Koagulationszone - sind erst durch die Röhrenapparate möglich geworden, wo während der 1/100 sec. andauernden Schwingungen von 1,75 MHz genügend Energie vom Apparat ans Gewebe abgegeben werden kann.

ad 2 und 3: Wie schon mehrmals anklang, spielt die vom Gerät abgegebene und vom Körper aufgenommene Leistung eine ausschlaggebende Rolle für die Höhe der auftretenden Temperaturen. Man dachte nämlich, daß man, wenn man die Spannung in Volt V und die Stromstärke in Ampère I angeben könnte, die Leistung und dann auch die Temperatur berechnen könnte. Die Leistung bei Wechselstrom berechnet sich nach der Formel:

$$(5) \text{ Watt} = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$\cos \varphi$ ist die Phasenverschiebung zwischen Volt und Ampère.

Schmidt, W.E. (1930, S.212) konnte aber nachweisen, daß die Phasenverschiebung bei Hochfrequenz in der Größenordnung der Diathermie praktisch vernachlässigbar ist, da

$$(6) \cos = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1}{\omega^2 \cdot R^2 \cdot C^2}}}$$

denn der Summand des Nenners ist klein gegen 1, so daß $\cos \varphi$ näherungsweise 1 ist.

Spannung und Stromstärke kann man bei Hochfrequenz wegen der Induktivität der Spulen nicht mit den üblichen Drehspulinstrumenten messen. Die einzige Möglichkeit ist die Verwendung von Hitzedrahtgeräten, die nie sehr genau und außerdem träge sind. Bessere Ergebnisse erhält man, wenn man die Temperaturen des Hitzedrahtes mit einem Thermoelement abgreift und die Temperaturen in Volt oder Ampère umeicht. Neben den Werten für Spannung und Stromstärke brauchen wir aber zur Berechnung noch Angaben über den Widerstand des Körpers. Dieser ist zwar, wie wir weiter oben zeigten, bei Diathermie gleich dem einfach zu messenden Ohmschen Widerstand, aber er ändert sich während der Koagulation dauernd. Auch wenn man den Widerstand während eines Momentes als konstant ansieht und nach dem Jouschen Gesetz

$$\text{Arbeit} = \text{Leistung} \times \text{Zeit}$$

$$(7) \quad A = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t \text{ (cal)}$$

$$0,24 = \text{mechanisches Wärmeäquivalent}$$

die dem Körper zugeführte Wärme A berechnet, besagt das nur, daß dem ganzen Körper diese Wärmemenge zugeteilt worden ist.

Uns interessieren aber die Temperaturen, die direkt an und in der Umgebung der Nadel auftreten. Um wenigstens einen Überblick über die Temperaturen und ihre räumliche Verteilung um die Nadel zu bekommen, wollen wir uns an einem Modell die Wärmeverteilung klarmachen. Wir betrachten die Verhältnisse in einem homogenen Versuchskörper, den man sich in halbkugeligen Schalen gleicher Dicke d um die Nadel gelegt denkt. Die indifferente Elektrode soll als Halbkugel ausgebildet sein (s. Abb.10).

Wir wollen weiterhin annehmen, daß der spezifische Widerstand ϱ , das spezifische Gewicht δ und die spezifische Wärme ϵ in unserem Versuchsobjekt an allen Stellen gleich ist. Aus dem Ohmschen Gesetz

$$(8) \quad U = R \cdot I$$

und der Beziehung

$$(9) \quad W = U \cdot I \quad W = \text{aufgenommene Energie}$$

$$\text{folgt} \quad (9a) \quad W = I^2 \cdot R$$

Wenden wir dies auf eine unserer Schalen an, so wollen wir unter W_n die Energieaufnahme der nten Schale verstehen. Diese Schale hat dann den Widerstand R_n . Die Stromstärke I ist für alle Schalen gleich, da wir keine Stromverzwei-

gung haben. Die Energieaufnahme der n ten Schale ist dann

$$(9b) \quad W_n = I^2 \cdot R_n$$

Der Widerstand eines Leiters ist allgemein nach der Formel (2)

$$(2) \quad R = \frac{l}{q} \cdot \varrho$$

In unserem Fall ist l gleich der Dicke der Schale d und q gleich der Oberfläche einer Halbkugel mit dem Radius r_n . Daraus folgt

$$(2a) \quad R_n = \frac{d}{2\pi r_n^2} \cdot \varrho$$

r_n ist der Abstand der n ten Schale vom Mittelpunkt der Halbkugel, d.h. der Nadel. Es ist also

$$(9c) \quad W_n = I^2 \cdot \frac{d}{2\pi r_n^2} \cdot \varrho$$

Die Erwärmung E eines Körpers in Grad Celsius ist allgemein gleich der aufgenommenen Wärme A (Formel 7) dividiert durch die Masse des Körpers m und seine spezifische Wärme σ :

$$(10) \quad E = \frac{0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t}{m \cdot \sigma}$$

Die Masse der n ten Schale ist aber

$$m_n = V_n \cdot \delta = 2 \pi r_n^2 \cdot d \cdot \delta \quad V_n = \text{Volumen der n ten Schale}$$

Dann ist die Erwärmung der n ten Schale

$$\begin{aligned} E_n &= \frac{0,24 \cdot I^2 \cdot R_n \cdot t}{m_n \cdot \sigma} \\ &= \frac{0,24 \cdot I^2 \cdot \frac{d}{2\pi r_n^2} \cdot \varrho \cdot t}{2\pi r_n^2 \cdot d \cdot \delta \cdot \sigma} \\ (10a) \quad E_n &= \frac{0,24 \cdot I^2 \cdot \varrho \cdot t}{4\pi^2 \cdot \delta \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{r_n^4} \\ &===== \end{aligned}$$

Wir hatten schon vorher gesehen, daß I für alle Schalen konstant war. Die Erwärmung einer Schale des Versuchskörpers hängt also bei einer bestimmten

Applikationsdauer nur von der Entfernung r von der Nadel ab - denn im ersten Bruch sind sonst nur noch Materialkonstanten enthalten -, und zwar nimmt sie mit der 4. Potenz ab. Wir konnten durch die Berechnung zeigen, daß die Erwärmung in einem Probekörper sehr schnell mit der Entfernung von der Nadelspitze abnimmt, d.h. schon in verhältnismäßig geringer Tiefe ist die Erwärmung für biologische Betrachtungen zu vernachlässigen.

Dieselben Überlegungen gelten in der Nähe der Nadel auch, wenn die indifferente Elektrode nicht eine Halbkugel, sondern eine Platte ist, denn die Stromlinien verlaufen in der Nähe der Nadel genauso, wie sie es bei einer halbkugelförmigen Elektrode tun würden (Abb.10). Erst mit zunehmender Entfernung von der Nadel biegen die Stromlinien in Richtung der Plattenelektrode ab (s. Abb.7b).

Da aber biologische Effekte, wie wir oben gesehen haben, nur in unmittelbarer Nähe der Nadel stattfinden, können wir für den uns interessierenden Bereich einen Erwärmungsabfall mit r^4 annehmen wie bei der halbkugeligen indifferenten Elektrode.

Abgesehen davon, daß man beim Menschen ρ , δ und σ der Gewebe schlecht bestimmen kann, ist die Voraussetzung der Homogenität für den menschlichen Körper nicht gegeben. Man kann also nicht anhand der Formel 10a die Erwärmung in Grad Celsius ausrechnen. Außerdem ist der Stromfluß und damit die Energieübertragung wegen der wechselnden Widerstände im Körper nicht gleichmäßig, und die Kühlung durch den Blutstrom und die Wärmeabstrahlung ist nicht berücksichtigt.

Als Ergebnis der versuchten Temperaturberechnung wollen wir aber festhalten, daß die Erwärmung mit der Entfernung von der Nadel sehr schnell auf vernachlässigbare Werte absinkt. Wahrscheinlich wird die Temperatur noch stärker als mit der 4. Potenz der Entfernung von der Nadel abfallen, da durch die Koagulation des Gewebes dicht an der Nadel der Widerstand steigt und weniger Strom fließen, d.h. Energie übertragen werden kann (s. weiter unten).

Es bleibt nur übrig, sich anhand von Überlegungen den Stromfluß und die möglicherweise entstehenden Temperaturen bei der Koagulation mit der Diathermienadel klarzumachen und zu versuchen, durch Experimente die Überlegungen zu untermauern. In der Praxis muß man sich auf das Beobachten der Wirkung auf das Gewebe (Weißfärbung bei der Koagulation) oder das Wärmeempfinden des Patienten verlassen.

Fließt der Strom von der Nadelelektrode ins Gewebe, so wirken Nadel und Ge-

webe als zwei hintereinandergeschaltete Widerstände, wobei sich das Gewebe mit seinem gegen die metallische Nadel großen Widerstand und der dadurch bedingten großen Leistungsaufnahme (Formel 9a) sehr viel mehr erwärmt als die Nadel, die praktisch kalt bleibt. Deshalb nennt man die Koagulation mit der Diathermienadel auch Kaltkaustik. Im Gewebe wirken Wasser und Eiweiß als parallelgeschaltete Widerstände. Jetzt bevorzugt der Strom das Wasser mit seinem kleineren Widerstand R_1 zur Ausbreitung und erwärmt es stark im Verhältnis zum Eiweiß mit seinem größeren Widerstand R_2 :

$$\begin{aligned} R_1 : R_2 &= I_2 : I_1 \\ (11) \quad R_1 &< R_2 \\ I_1 &> I_2 \end{aligned} \quad I_1^2 R_1 > I_2^2 R_2$$

Das erhitzte Wasser bringt durch Wärmeleitung das Eiweiß zur Koagulation und sorgt gleichzeitig für den Abtransport der Wärme. Sobald das Eiweiß geronnen und das Zellwasser verdampft ist, steigt der Widerstand schlagartig, was sich in einem Zurückgehen des Stromflusses bemerkbar macht (Gebbert, A. (1931, S.1285), Henseler, H. u. Prinz, H. H. (1934, S.201)). Wenn das Diathermiegerät genügend hohe Spannungen erzeugen kann, um den sehr hohen Widerstand des geronnenen Gewebes zu überwinden, so wird das geronnene Eiweiß von dem noch fließenden Strom stärker erwärmt, als es durch Wärmeabgabe abkühlt. Die Temperatur kann jetzt bis zur Verkohlungs steigen.

Der erste um die Nadel entstehende Kohlenstoff ist nun ein noch größerer Widerstand, der im allgemeinen den Stromfluß zum Erliegen bringt. Der mit wachsender Koagulationszone größer werdende Widerstand setzt meist bei den kleineren Diathermiegeräten mit geringerer Leistung der Ausbreitung der Koagulation ein Ende, bevor es noch in der Umgebung der Nadel zu einer Verkohlung kommt. Da man sich mit der Koagulation zufrieden gibt und nicht wartet, bis alles Wasser restlos verdampft ist und die Verkohlung einsetzt, werden wohl auf größerer Fläche kaum höhere Temperaturen als 100°C erreicht, wenn man von punktförmigen Überhitzungen durch hochgespannten Wasserdampf in einzelnen Zellen absieht.

Im Körper wirken die Gewebe mit verschiedenen spezifischen Widerstandswerten als parallelgeschaltete Widerstände. Der Diathermiestrom durchfließt am meisten und erwärmt am stärksten die Gewebe, die den niedrigsten Widerstand, d.h. den höchsten Wasser- oder Serumgehalt haben. Entzündete

oder mit Injektionsflüssigkeit infiltrierte Gewebe werden also stärker erhitzt als vergleichbares normales Gewebe (Kowarschik, J. (1928, S.60), Immenkamp, A. (1932, S.577)).

Die Reihenfolge der Körpergewebe nach steigendem Widerstand dem Diathermiestrom gegenüber geordnet ist folgende: Muskel, Haut, Leber, Lunge, Gehirn, Fettgewebe, Knochen (nach Wildermuth, zit. nach Keyser, F. (1931, S.40) u. Bucky, zit. n. Flohr, W.u.E. (1930, S.27)).

Für die fragliche Überhitzung des Alveolarknochens bei der Ignipunktur bedeutet die bevorzugte Durchsetzung von Geweben mit geringem Widerstand, daß man mit einer stärkeren Erhitzung des Knochengewebes vergleichbar mit der des darüberliegenden Zahnfleisches nicht rechnen muß, wenn man dem Knochen nicht so nahe kommt, daß der Widerstand zum Umgehen des Knochens in dem schmalen Rest Weichgewebe größer ist als der durch den Knochen selbst. Andererseits muß man sich vor Augen halten, daß sich der Knochen schon bei sehr geringem Stromdurchfluß wegen seines hohen Widerstandes stark erwärmt und außerdem besonders empfindlich gegen Zirkulationsstörungen ist, die schon bei zu intensiver Erwärmung des darüberliegenden Zahnfleisches auftreten können (Immenkamp, A. (1931, S.2259)).

ad 4: Die Zeit, d.h. die Applikationsdauer, spielt nicht nur zur Abschätzung der aufgenommenen Arbeit = Wärme eine Rolle, sondern es ist auch wichtig, ob eine bestimmte Wärmemenge in einer langen oder kurzen Zeit aufgenommen wurde. Auch wenn die aufgenommenen Kalorien zahlenmäßig gleich sind, ist die biologische Wirkung verschieden. Ist die Zeit der Wärmeaufnahme groß, so besteht die Möglichkeit des Wärmeabtransportes in das Nachbargewebe und an der Zahnfleischoberfläche Abstrahlung in die umgebende Luft sowie Kühlung durch den Blutstrom; denn ist "die Gewebsdurchblutung unterbunden, so muß sich die Wärme im Gewebe stauen" (Blunck, F. A. (1935, S.19,20)). Bei der normalen Koagulation mit Weißfärbung des Gewebes ist die Zeit der Wärmeaufnahme lang. Folglich wird das Gewebe nicht über 100° C erwärmt, weil die Hitze nicht so weit steigt, daß alles Wasser verkocht, aber ein verhältnismäßig großer Gewebebezirk ist koaguliert, weil die Wärme gut geleitet werden konnte und das angrenzende Gewebe auch schädigte. Wird dieselbe Wärmemenge in ganz kurzer Zeit appliziert, wie es beim Sprengschnitt, der Fulguration, dem Abfunken des Wurzelkanals und seiner Sterilisation der Fall ist, so wird ein kleines Gebiet stark überhitzt, das Wasser verdampft explosionsartig, und bei der Fulguration sowie dem Abfunken des Wurzelkanals kommt es noch zur oberflächlichen Verkohlung.

ad 5: Wie schon im Abschnitt über die Temperaturentstehung dargelegt wurde, ist für den Grad der Erwärmung neben der Stromstärke die Stromliniendichte maßgebend. Die Stromdichte ist direkt proportional der Stromstärke I und umgekehrt proportional der Oberfläche der Elektrode q :

$$(12) \quad \text{Stromdichte} = \frac{I}{q}$$

Das bedeutet für die praktische Anwendung, daß man je nach Elektrodenoberfläche mit einer Stromstärke durchwärmen, koagulieren oder verkohlen kann. Nach Untersuchungen von Müller (Münster) (zit. n. Henseler, H. u. Prinz, H. H. (1934, S. 110)) ergab sich, daß von einer Diathermienadel annähernd der gesamte Strom vom ersten Millimeter an der Spitze abfließt. Da die Nadelspitze die kleinste Oberfläche und damit größte Stromliniendichte aller verwandten Elektrodenformen hat, folgt daraus, daß man bei ihrer Anwendung schon mit kleinsten Stromstärken Koagulationen vornehmen kann. Im allgemeinen ist die Koagulationszone eine Halbkugel mit der Tiefe des Durchmessers der Elektrode (Keyser, F. (1931, S. 1, 2)). Wenn bei der Nadel die Tiefe der Koagulation auch nur so groß wie die Spitze ihres Durchmessers wäre, wäre sie sehr gering. In Wirklichkeit ist die Koagulationstiefe unterhalb der Nadelspitze durch die starke Bündelung der Stromlinien etwas größer. Ihre ungefähre Tiefe soll durch einen Versuch festgestellt werden.

II. A. 4) Eigene Versuche zur Ermittlung der Temperaturhöhe und -verteilung

Alle Temperaturversuche wurden bei einer Dosierungsknopfeinstellung des Erbotoms K 25 auf die Stufe 5 bei der monoterminalen Nadelelektrode und auf die Stufe 2,5 bei der biterminalen Nadelelektrode gemacht. Immer wurde bipolar und mit der halben vom Apparat lieferbaren Spannung (Buchse Schneiden, Koagulieren) gearbeitet.

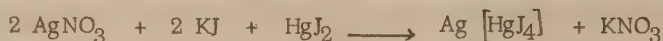
Es wurde zuerst daran gedacht, mit Hilfe von Thermoelementen genaue Temperaturmessungen vorzunehmen, um Temperaturverteilungskurven aufstellen zu können. Es scheiterte einmal daran, daß die metallischen Thermoelemente zu nahe an die Diathermienadel gebracht werden mußten, als daß sie nicht die Stromlinienverteilung beeinflussen würden. Zum zweiten haben die dünnsten Miniaturthermoelemente (der Firma Philips) einen Durchmesser von 0,34 mm, sind also für Messungen in Millimeterbezirken zu dick. Ein Beispielversuch im vergrößerten Maßstab, bei dem die Thermoelemente klein

gegen die Nadel wären und ihr nur so weit genähert werden müßten, daß sie den Stromlinienverlauf an der Nadel nicht störten, ist nicht sinnvoll, denn die Ergebnisse dieses großräumigen Versuches sind nicht ohne weiteres auf die komplizierten Verhältnisse im Mikrobereich der Zellen übertragbar.

Um eine Übersicht über die Temperaturverteilung um die Diathermienadel zu bekommen, wurde Quecksilber (II)-Silberjodid $\text{Ag}_2[\text{HgJ}_4]$ als optisches Thermometer benutzt. Es ist unter 35°C gelb, über 35°C orange und ab $60-70^\circ\text{C}$ rot (Index Merck, 1961).

Der Gedanke zu diesem Versuch kam von einem Experiment W. Flohrs (1929, S.1679), der Zähne in "Agar von Konsistenz von Butter, dem Glyzerin, Jod-silber und Jodquecksilber zugefügt war", steckte und an dem Farbumschlag sehen wollte, ob das Periodontium bei Wurzelbehandlungen mit der Diathermienadel miterwärmt wurde.

Da nach der Reaktionsgleichung



Quecksilber II-Silberjodid entsteht, wurden

0,68 g	AgNO_3
0,90 g	HgJ_2
0,66 g	KJ

in 50,0 g Aqua dest. zur Reaktion gebracht und in 100 ccm flüssigen Agar eingerührt. Dieser "Quecksilberagar" wurde in eine mit Stanniolpapier ausgekleidete Petrischale gegossen und erstarren lassen. Das Stanniolpapier diente bei der einfachen Nadelelektrode als indifferente Elektrode. Die Nadelelektrode wurde nahe der Glaswand der Petrischale eingestochen, so daß sie von außen sichtbar war. Anstelle des Fußschalters war eine Fotouhr eingeschaltet, die den Strom 0,2, 0,4, 0,6 ... bis 1,2 sec. fließen ließ. Die Photographien wurden mit Grünfilter gemacht, damit sich der an und für sich geringe Farbunterschied von orange nach rot in der Schwarz-Weiß-Wiedergabe einigermaßen darstellte. Zur Ausleuchtung wurde ein Elektronenblitz benutzt, der mit Ende des Stromflusses sofort ausgelöst wurde. Da sich der Blitz 10 cm seitlich der Kamera befand und wegen der Rundung der Petrischale scheint der Farbumschlag auf allen Bildern auf der einen Seite stärker zu sein als auf der anderen. In Wirklichkeit ist aber die Erwärmung und damit die Rotfärbung ganz symmetrisch (Abb.11 und 12).



Abb. 11 a

Temperaturverteilung um die monoterminale, bipolare Elektrode nach 0,2 sec. (a) und 1,2 sec. (b), Stufe 5.

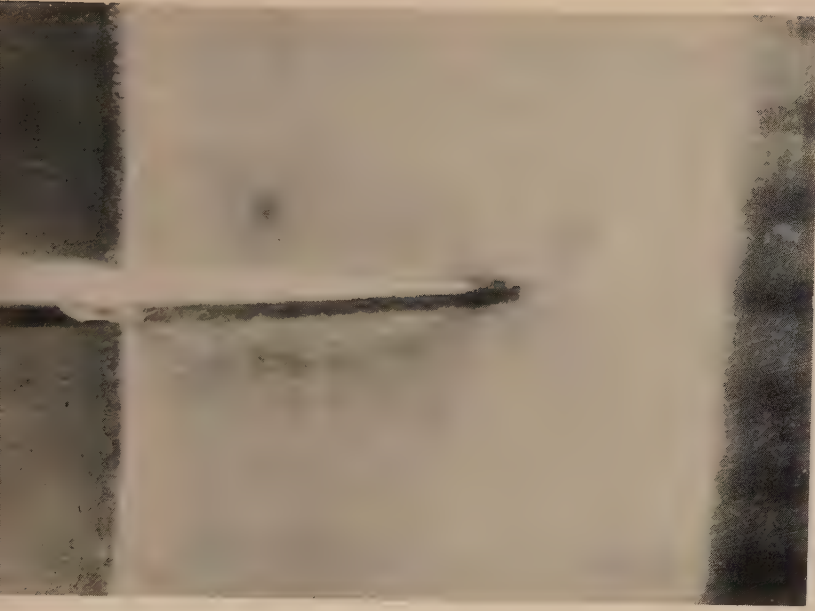


Abb. 11 b



Abb. 12 a



Abb. 12 b

Temperaturverteilung um die biterninale, bipolare Elektrode nach 0,2 sec. (a) und 1,2 sec. (b), Stufe 2, 5.

Bei der einfachen Nadelelektrode sieht man nach 0,2 sec. nur eine sehr geringe Erwärmung, die sich gerade um die Nadelspitze andeutet. Nach 1,2 sec. ist der rote Hof, d.h. eine Erwärmung auf mindestens 60°C, rund um die Nadel deutlich zu sehen. Die geringe Tiefenausdehnung ist erstaunlich.

Damit bei der hohen Stromliniendichte zwischen den nur 1 mm voneinander entfernten Nadelspitzen der biterminalen Elektrode der Agar nicht gleich schmilzt (Schmelzpunkt 90°C), wurde die Stromstärke auf die Hälfte der bei der monoterminalen Elektrode angewandten reduziert. Trotzdem sieht man schon nach 0,2 sec. Stromflußdauer zwischen und um die Nadeln eine Erwärmung, d.h. eine leichte Rotfärbung. Nach einer Zeit von 1,2 sec. ist es zwischen den Nadeln so heiß geworden, daß der Agar geschmolzen ist und wegkocht. Auch hat sich die erwärmte Zone um die Nadeln vergrößert.

Die Zone der Erwärmung auf mindestens 60°C wird im Körper nicht so groß sein, wie man auf den Aufnahmen anhand des Millimetermaßes abschätzen kann, da erstens der Körper eine größere Masse hat - die gelieferte Leistung sich also auf eine größere Masse verteilt - und zweitens die Eiweißkoagulation den Stromfluß und damit die Erwärmung durch den ansteigenden Widerstand drosselt.

Der Versuch mit Quecksilberagar hat gezeigt, daß um die Diathermienadel Temperaturen von mindestens 60-70°C entstehen und daß bei der einfachen Nadelelektrode die Isothermen die Oberfläche eines halben, langgestreckten Ellipsoids bilden, dessen unterer Pol nicht sehr viel unterhalb der Nadelspitze liegt. Der Versuch mit der Doppелеlektrode rechtfertigte die Überlegungen, daß wegen der großen Stromdichte die Erhitzung zwischen den zwei Nadeln schon bei kleiner Stromstärke sehr groß ist. Der durch Wärmetransport außerhalb der Nadeln erhitzte Bezirk hat im Prinzip dieselbe Form wie der um eine einzige Nadel, wenn er auch nicht ganz so groß ist.

Wegen der Unmöglichkeit, die um die Diathermienadel entstehenden Temperaturen mit Thermometern (zu dick) oder Thermoelementen (Beeinflussung des elektrischen Feldes) exakt zu messen, wurde daran gedacht, Temperaturmessungen mit Hilfe von chemischen Reaktionen durchzuführen. Für diesen Zweck fanden sich zwei Möglichkeiten. Die eine war eine Spezialfärbung mit Orange G, Anilinblau und Phosphormolybdänsäure in absolutem Methanol gelöst, bei der sich über 70°C erhitztes Kollagen gelb und die Übergangszone blau-grün färbt, während thermisch unverändertes Kollagen blau bleibt (Ross, A. O. and Walker, C. J. (1953, S.379)). Die Färbung wurde an narkotisierten Ratten, deren Schwänze 2 Minuten in Wasser von 65°,

70°, 75° und 80°C getaucht wurden, ausprobiert. Nach der Erhitzung wurden die Schwänze abgeschnitten, sofort in Carnoy (6 ccm Alkohol abs., 3 ccm Chloroform und 1 ccm Eisessig) fixiert und die Paraffinschnitte in folgender Farblösung für 24 Stunden gefärbt:

100 ccm	Methanol abs.
10 mg	Anilinblau
20 mg	Orange G
5 g	Phosphormolybdänsäure

Dieser Vorversuch war nötig, um die Färbung herauszubekommen, da in der Arbeit von Ross und Walker keine genauen Angaben gemacht worden waren und auf Anfrage keine Antwort gegeben wurde. An den Präparaten der Rattenschwänze zeigte sich die Grenze von erhitztem zu unerhitztem Kollagen sehr deutlich (Abb. 13).

Diese an und für sich ideale Möglichkeit, die Entfernung der Isotherme von 70°C von der Nadel am Patienten bestimmen zu können, indem man den gelben Hof an den Schnitten mit dem Meßokular ausmißt, erwies sich als Trugschluß, weil erstens durch das wasserfreie Carnoy Fixativ die abgeschnittenen, gestichelten Papillen unkontrollierbar schrumpften, und zweitens die Schnittebene nicht immer senkrecht zum Nadeleinstich lag; denn man konnte den kleinen losgetrennten Papillen bei der Paraffineinbettung nicht ansehen, von welcher Seite sie gestichelt worden waren.

Wenn die Färbung auch nicht zu dem geplanten Zweck verwandt werden konnte, war sie doch zum Deutlichmachen des koagulierten Gebietes nützlich, das sich durch die unterschiedliche Tönung deutlich von dem thermisch unveränderten Gewebe abhob.

Die zweite Möglichkeit, chemische Reaktionen zur Temperaturmessung auszunutzen, war die Verwendung von Farbindikatoren, die bei Erreichen einer bestimmten Temperatur irreversibel umschlagen. Solche Temperatur-Farbindikatoren werden in der Industrie verwendet zur Überwachung der Temperatur bei der wärmetechnischen Verarbeitung von Preßmassen, Leichtmetallen und Glas sowie zur flächenmäßigen Erfassung der Temperaturverteilung an großen Apparaten und Öfen. Sie liegen vor als Temperatur-Meßfarben ("Thermocolor" der Badischen Anilin- und Sodafabrik, Ludwigshafen/Rhein) im Bereich von 40-1350°C und als Temperatur-Meßfarbstifte ("Thermochrom" von Faber-Castell) im Bereich von 65-670°C. Diese Temperatur-Meßfarben und -Meßfarbstifte sind aber nicht wasserlöslich, deshalb kann man sie nicht in das zu

stichelnde Gewebe eindiffundieren, dieses dann sticheln und an den Schnitten die Temperaturentbreitung ausmessen. In dem durchgeführten Versuch konnte deswegen nur ein Scheibchen des Farbstiftes oder mit dem Stift bemaltes Filterpapier auf oder zwischen Gewebe gelegt werden. Es wurden die Thermochrommeßfarbstifte von 65° , 75° , 100° , 120° und 150°C benutzt. Die Stromflußdauer bei einer Einstellung des Erbotoms K 25 auf die Stufe 5 wurde mit einer Röntgenzeituhr auf 1 Sekunde (Eichwert 1,03 sec.) begrenzt. Nur bei den Versuchen mit dem 100°C -Stift wurden mit dem Fußschalter längere Zeiten eingestellt. Da in Deutschland normalerweise nur die monoterminale Elektrode benutzt wird, wurde dieser Versuch nur mit ihr durchgeführt. Als Versuchsobjekt diente ein Stück Fleisch, das auf der inaktiven Elektrode, einer Bleipatte, lag. Es wurde festgestellt, daß bei den Farbstiften für 65° und 75°C um die auf das Fleisch aufgesetzte Nadel in dem mit Wasser befeuchteten Thermochrom-Farbplättchen ein mit fortschreitender Zeit wachsender Farbhof entstand. Bei den Farbplättchen von 100° , 120° und 150°C konnte auch bei längerer Einwirkdauer kein Farbumschlag erreicht werden; d.h. daß bei der Koagulation mit der einfachen Nadelelektrode auf Schaltstufe 5 und bei 1 sec. Dauer - wie sie später an Patienten durchgeführt werden soll, - an der Nadelspitze Temperaturen von 65° und 75°C entstehen, aber 100°C nicht überschritten werden. Dies ist nach den Überlegungen zur Temperaturberechnung auch verständlich.

Um Anhaltspunkte über die Temperaturhöhe an den Seiten der Nadel zu erhalten, wurde die Nadel durch ein Meßfarbplättchen ins Fleisch gestochen. Nach Einschalten des Stromes dauerte es einige Zeit, bis durch Wärmeleitung und hochsteigende Wasserdämpfe das Farbplättchen von 65° und 75°C zum Umschlagen gebracht wurde. Dieser Versuch bestätigte, daß die Stromlinien praktisch alle an der Nadelspitze austreten und dort primär erwärmen, und die Wärme nicht gleichmäßig um die Nadel entsteht, sonst hätte der Farbumschlag wie an der Nadelspitze gleich nach dem Einschalten erfolgen müssen.

Außerdem wurde versucht, durch Schichtung von feuchtem, bemaltem Filterpapier als Thermochromfarbträger und gleich dicken Scheiben Fleisch (150μ , im Gefrierschnittverfahren gewonnen), annähernd die Entfernung der Isotherme von 65° und 75°C von der Nadel zu bestimmen. Feuchtes Filterpapier wurde benutzt, weil gehofft wurde, daß es einen mit Fleisch vergleichbaren Widerstand hätte. Es stellte sich aber heraus, daß der Widerstand trotz des guten Durchfeuchtens so hoch war, daß überhaupt keine sichtbare Reaktion eintrat, wahrscheinlich also kein Strom floß. Das Ziel dieses Versuches wäre gewesen, festzustellen, mit welcher Tiefe und Breite der Koagulationszone

man bei dieser bestimmten Appareteinstellung hätte rechnen müssen, um sie mit den an Schnitten festgestellten Veränderungen vergleichen zu können.

II. B. 1) Histologischer Aufbau der Zahnfleischpapille

Die histologischen Untersuchungen über die Wirkungsweise der Stichelung mit der Diathermienadel wurden an isolierten abgeschnittenen Zahnfleischpapillen vorgenommen. Man ist also in der Lage, Veränderungen am Epithel und am Bindegewebe festzustellen, denn die Papille ist von einem mehrschichtigen Plattenepithel bedeckt und besteht aus lockerem Bindegewebe sowie aus kollagenen Fasern, die nach funktionellen Gesichtspunkten angeordnet sind.

Das Plattenepithel zeigt im allgemeinen einige Stadien der Verhornung und hat zahlreiche Papillae occultae, die je nach Individuum verschieden lang sein können. Das Saumepithel zeigt keine Verhornung und hat auch keine Papillae occultae (Goldman, H. M. and Cohen, D. W. (1957, S. 31-37)).

Der Papillenkörper besteht aus zellreichem, lockerem Bindegewebe mit reichlich elastischen Fasern und darin eingelagerten kollagenen Faserbündeln, deren funktionelle Anordnung von Feneis, H. (1952, S. 467-476) untersucht worden ist. Das kollagene Gerüst der Papille besteht nach ihm aus (s. Abb. 14):

- (1) den Fibrae subepitheliales, die parallel zum Epithel verlaufen und ihm eine größere Festigkeit verleihen,
- (2) den Fibrae interdentes decussatae, die die Papille von lingual nach buccal durchziehen und sie vor einem Durchreißen schützen,
- (3) den Fibrae dentogingivales, die vom extraalveolären Zement fächerförmig in die Schleimhaut einstrahlen und die Entstehung eines Wackelspaltes verhindern,
- (4) den Fibrae intercirculares decussatae, die sich überkreuzend die Fibrae circulares (6), das sogenannte Ringband, zweier benachbarter Zähne verbinden,
- (5) den Fibrae interdentes mesiodistales, die die extraalveoläre Fortsetzung der Wurzelhautfasern darstellen und je zwei benachbarte Zähne direkt über dem Alveolarknochen liegend verbinden.

Bei der Abtrennung der Papille in einer Höhe, wie man etwa den Schnitt bei einer Gingivektomie führt, findet man in den histologischen Präparaten die Fibrae subepitheliales (1), die Fibrae interdentes decussatae (2) und die Fibrae dentogingivales (3). Ob die Fibrae circulares (6) und die Fibrae inter-

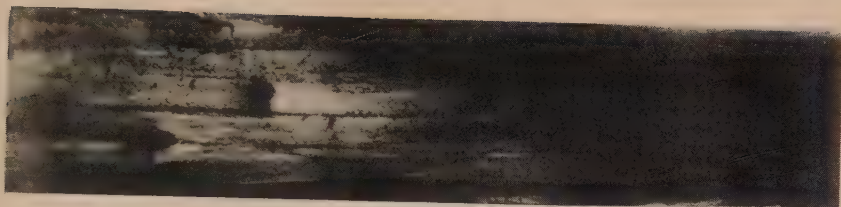


Abb. 13 : Kollagene Fasern aus einem Rattenschwanz
Spezialfärbung, Vergr. 180 x

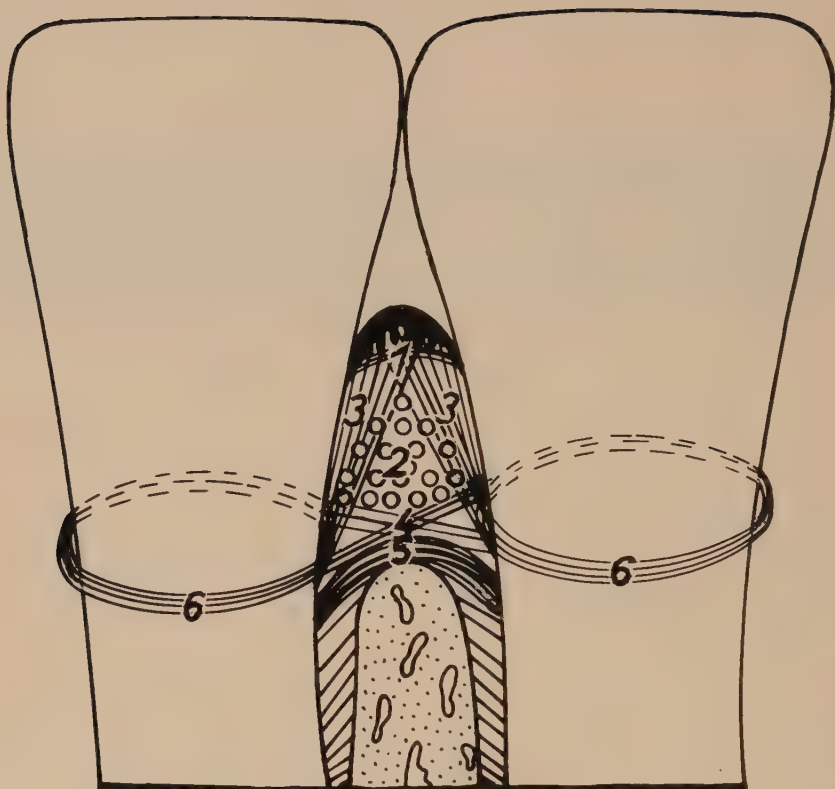


Abb. 14

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1. Fibrae subepitheliales | 2. Fibrae interdentalis decussatae |
| 3. Fibrae dentogingivales | 4. Fibrae intercirculares decussatae |
| 5. Fibrae interdentalis
mesiodistales | 6. Fibrae circulares |

circulares decussatae (4) bei der Papillenabtragung getroffen werden, hängt von der Schnittführung ab. Da aber die Schnittrichtung an isolierten Papillen nicht mehr festgestellt werden kann, kann man die kollagenen Bündel in den Präparaten nicht als bestimmte Fibræ erkennen, sondern sieht nur allgemein Bündel von geordneten, zellarmen kollagenen Fasern in lockeres Bindegewebe eingelagert.

Die Blutversorgung der Gingiva und damit auch der Papille ist extrem reich. Die Gefäße kommen von der Wurzelhaut und dem Periost. Das Bindegewebe jeder Papille enthält eine funktionelle Endarterie, die sich in Kapillarschleifen auflöst und als Vene zurückkehrt.

Die Stichelung und anschließende Abtragung der Papillen konnte natürlich nur an solchen Patienten vorgenommen werden, deren Papillen so weit entzündet waren, daß sie ohnehin entfernt worden wären.

Schon die klinisch gesunde Gingiva zeigt eine geringe Zellinfiltration, die nach Weski als Gingivitis physiologica interna bezeichnet wird. Die abgetragenen Papillen zeigen aber alle deutliche Anzeichen von Entzündungen. Die Papillae occultae sind verlängert und das Epithel ist von Entzündungszellen durchwandert. Das Saumepithel ist manchmal ulceriert. Das lockere Bindegewebe ist ödematös und entzündlich infiltriert, am stärksten unter dem Epithel, aber je nach Entzündungsgrad auch noch in der Tiefe der Papille. Die kollagenen Fasern sind verschieden stark durch Entzündungszellen aufgelockert, und in extremen Fällen ist die ganze Faserstruktur verlorengegangen.

II. B. 2) Vorliegende Untersuchungen über Gewebsveränderungen nach Verbrennungen und Diathermieschnitten

Ein verhältnismäßig großer Teil der Arbeit wurde auf die Abschätzung der bei Diathermiestichelung auftretenden Temperaturhöhe und -verteilung verwandt, weil heute Untersuchungen über die bei bestimmten Temperaturen eintretenden Gewebeveränderungen vorliegen, die an verbrannten Geweben durchgeführt wurden (Allgöwer, M. u. Siegrist, J. (1957, S.1-45)) und deren Kenntnis auch bei der durch Diathermieanwendung auftretenden Erhitzung aufschlußreich ist.

Die Temperaturgrenze, bei der wesentliche Schädigungen einsetzen, liegt zwischen 50° und 55°C. Außerdem werden bei dieser Temperatur aus den geschädigten Zellen intrazelluläre Fermente frei, die bis 70°C aktiv blei-

ben. Zwischen 50° und 60°C ist eine erhöhte Kapillarpermeabilität vorhanden, es kann sich ein Ödem ausbilden. Über 62°C sistiert die Zirkulation, und es kann kein Ödem mehr entstehen. In über 70°C erhitztem Kollagen haben sich wasserlösliche Produkte gebildet, die eine Spezialfärbung erlauben (Ross, O. A. and Walker, C. J. (1953, S.379)). Ab 70°-80°C setzt die eigentliche Hitzeokoagulation ein, und ab 80°-100°C entstehen toxische Produkte. "In der Regel führt Hyperthermie von hoher Intensität zur Koagulationsnekrose, welche nicht autolytisch wird, der Organisation widersteht und sich durch Sequestration ablöst. Bei Hyperthermie von geringer Intensität wird die Nekrose autolytisch abgebaut und durch einwanderndes Granulationsgewebe organisiert" (Allgöwer, M. u. Siegrist, J. (1957, S.6)).

Neben diesen durch die Erhitzung bedingten Veränderungen soll es aber bei der Diathermiestichelung noch zu einer reichlichen Entwicklung von Nekrohormonen kommen, die auf die Regeneration anregend wirken (Mathis, H. (1948, S.316)). Es handelt sich bei diesen Nekrohormonen aber nicht um Hormone im eigentlichen Sinn, nämlich um Stoffe, "die in bestimmten Organen gebildet werden und, auf dem Blutwege - humoral - weiterbewegt, in anderen Organen spezifische Wirkungen auslösen" (Lehnartz, E. (1959, S.184)) sondern um Stoffe, die aus zugrunde gehenden Gewebsbestandteilen entstehen und das Wachstum anregen (Ribbert, H. (1942, S.156)).

Außer bei der Heilung des gestichelten Zahnfleisches sollen die sogenannten Nekrohormone zusammen mit einer durch die Entzündung veranlaßten Überernährung noch eine Rolle spielen bei der Tiefenwucherung des Epithels bei den chronischen Zahnfleischentzündungen (Häupl, K. (1955, S.282), Mathis, H. (1948, S.103), Häupl, K. u. Lang, F. J. (1927, S.121)).

Etwas Ähnliches wie die Nekrohormone von Mathis und Häupl meint wohl auch Rumpel, C. (1929, S.1,2), wenn sie die bei der Kauterisation entstehende Blutkohle als heilenden Faktor anspricht.

Eine nähere Beschreibung oder ein Nachweis dieses hypothetischen Stoffes konnte in der Literatur nicht gefunden werden.

Anhand von Serienschnitten gestichelter Papillen soll die Gewebeveränderung durch Ignipunktur im nächsten Abschnitt nachgewiesen werden. Um zu wissen, welche Zellveränderungen man im einzelnen zu erwarten hat, ist es angebracht, sich mit den histologischen Befunden an Funkenschnittpräparaten zu befassen, da Untersuchungen von Stichlungspräparaten nicht vorliegen:

Die Zellen der parenchymatösen Organe (Leber) sind besonders hitzeempfindlich und deswegen sieht man ihnen die Veränderungen besonders gut an. Ent-

sprechend der Ausbreitung der Hitze vom Schnitttrand ins Gewebe nimmt man die verschiedene Staffelung der Zellschädigung an der Leber wahr. Nach Kückens, H. (1930, S.695 f.) und Kuntzen, H. u. Vogel, W. (1931, S.45) entstehen drei Zonen:

Die primäre Nekrosezone besteht aus zwei Teilen: dem Brandschorf, der direkt am Schnitttrand liegt, und der Zone der hitzefixierten Zellen. Dieses Gebiet hat eine verwaschene Zeichnung, ist geschrumpft und ist mit Kernfarbstoff gut färbbar. Die Kerne zeigen Hyperchromasie, Pyknose und Schrumpfung. Die dritte Zone, die sekundäre Nekrosezone, zeigt direkt nach der Hitzeeinwirkung keine Veränderungen. Aber die Zellen sind durch die Hitze so geschädigt, daß sie nach einigen Stunden oder Tagen doch absterben. Deshalb sieht man die sekundäre Nekrosezone erst an Präparaten, die 2 bis 3 Tage nach der Operation entnommen worden sind. Das Gewebe ist dann völlig nekrotisch und färbt sich hell, weil man keine Kernfärbung mehr erzielen kann.

Besonders Immenkamp, A. (1931, 1932, 1933) hat die Veränderungen nach Hochfrequenzschnitten an der Gingiva untersucht. Nach ihm ist die Gingiva weniger hitzeempfindlich, da das Bindegewebe eine größere Resistenz gegenüber Hitzeeinwirkungen hat. Deshalb "tritt eine stufenweise Abgrenzung der einzelnen Zonen, insbesondere der primären und sekundären Nekrosezone, wie es bei den parenchymatösen Organen der Fall ist, im histologischen Bild nicht zutage. Vor allem konstatiert man eine geringere Ausdehnung der Weichteilnekrose" (Immenkamp, A. (1931, S.2256)). Irreversibel geschädigte Zellen fallen aber auch später noch langsam der Nekrose anheim. Im histologischen Bild erkennt man von der Unterlage größtenteils getrennte, mit Kernfarbstoff gefärbte Epithellamellen, die aus einer strukturlosen, homogenen Masse bestehen und stellenweise von Waben und Spalten durchsetzt sind. Die Epithelzellen der tieferen Schichten liegen in paralleler Anordnung in Büscheln und Garben zusammen. Das Bindegewebe ist in eine schollige, mit Spalten und Waben reichlich durchsetzte, strukturlose Masse umgewandelt. Die Gefäße sind völlig thrombosiert, stellenweise beobachtet man reichliche Blutaustritte und Imbibition des Gewebes. Ähnliche Ergebnisse wie von Immenkamp zeitigten auch die Untersuchungen von Orban, B. (1933), Area, K. (1956), Blunck, F. A. (1935) und Eisenlohr (1932).

II. B. 3) Eigene histologische Untersuchungen

a) Technisches Vorgehen bei der Stichelung und Färbung

Zuerst wurde dem Patienten eine Bleiplatte als inaktive Elektrode am Unterarm befestigt. Dann wurde unter Lokalanästhesie mit der einfachen Nadelelektrode oder mit der Doppelelektrode bis maximal 3 mm tief in die Papille eingestochen. Der Diathermiestromfluß wurde entweder nach dem Gefühl auf eine Sekunde bemessen oder mit einer Röntgenzeitschaltuhr nach einer Sekunde (Eichwert 1,03 sec.) unterbrochen. Immer wurde die Buchse "Schneiden-Koagulieren" benutzt, und der Dosierungsknopf auf Stufe 5 gestellt. Während des Stromflusses sah man eine Weißfärbung um die Nadel auftreten, die auch nach Herausziehen der Nadel bestehen blieb (siehe Abb.15!).

Die gestichelten Papillen wurden entweder direkt anschließend, drei oder acht Tage später abgetrennt. Die Schnittwunden wurden mit einem "Gingivectomy-Pack" (Parodontalverband) bedeckt und heilten sehr rasch ab. Die Papillen wurden in Formalin oder Carnoy fixiert, in Paraffin eingebettet und 8-10 μ dicke Schnitte angefertigt. Jeder 5. bzw. 10. Schnitt wurde untersucht. Das Stichelungsschema und die Art der Färbung ersieht man aus der folgenden Zusammenstellung des uns zur Verfügung stehenden Untersuchungsmaterials:

• Einstich mit der Einzelelektrode

k Kontrollpapille

" Einstich mit der Doppelelektrode

Pat. I, Herr L.:

Anästhesie: Baycain blau

Stichelung: Erbotom K 25, Stufe 5, Einzelelektrode

3 . 2 . 1 . 1 . 1 . 2 . . 3

s. Abb.15

Stromflußdauer: 1 sec. nach Gefühl

Entfernung der Papillen: Sofort nach der Stichelung

Fixierung: Formalin

Schnittschema und Färbung: Alle Papillen zusammen eingebettet

Schnitt Nr.1-5-10-15 ... 50-60-70-80 ... 340 alles HE

Nr.31 entparaffiniert, mit Glycerin eingedeckt

Nr.32 PAS und Speichel

Nr.33 PAS (vgl. S. 43 dieser Arbeit)

Nr.34 Alcian Blue (vgl. S. 44 dieser Arbeit)

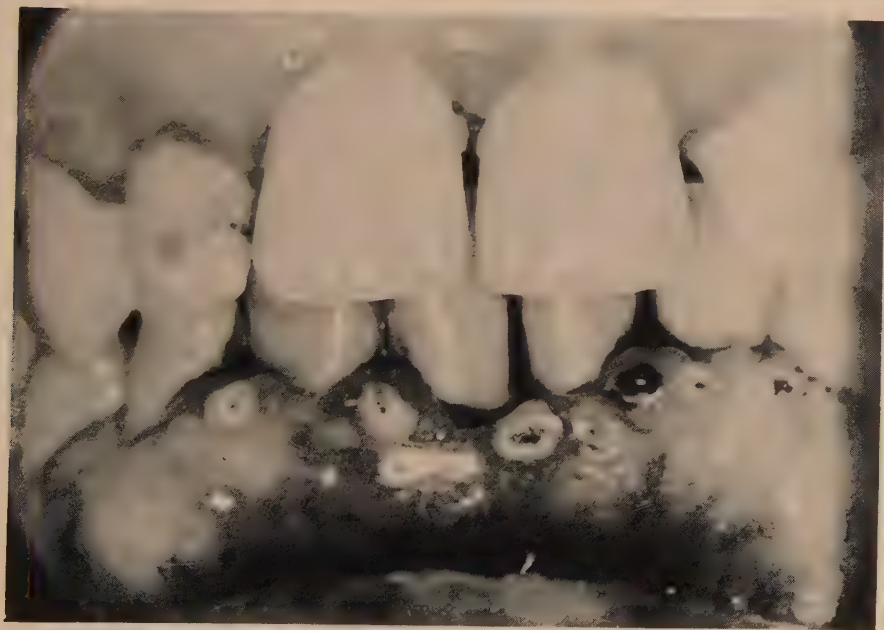


Abb. 15 : Pat. I, Herr L. vor und nach der Stichelung

- Nr.61 Alcian Blue und Hyaluronidase
 Nr.121 PAS und Hyaluronidase
 Nr.131 Hale und PAS und Hyaluronidase (vgl. S. 44 dieser Arbeit)
 Nr.161 Hale und PAS
 Nr.201 Hale und Hyaluronidase

Pat. II, Frl. E. :

Anästhesie: Baycain blau

Stichelung: Erbotom K 25, Stufe 5, Einzelelektrode

$\overline{4.5}$

Stromflußdauer: 1 sec. nach Gefühl

Entfernung der Papille: Sofort nach der Stichelung

Fixierung: Formalin

Schnittschema und Färbung: Schnitt Nr.1-10-20-30 ... 250 alles HE

Pat. III, Frl. T. :

Anästhesie: Baycain blau

Stichelung: Erbotom K 25, Stufe 5, Einzelelektrode

$\overline{2.1 \quad 1.2}$

Stromflußdauer: 1 sec. nach Gefühl

Entfernung der Papillen: Sofort nach der Stichelung

Fixierung: Formalin

Schnittschema und Färbung: Alle Papillen zusammen eingebettet.

Schnitt Nr. 1-10-20-30 ... 220 alles HE

Nr.21 Hale und Speichel

Nr.51 Hale

Pat. IV, Herr K. :

Anästhesie: Scandicain N

Stichelung: Erbotom K 25, Stufe 5, Doppel­elektrode

$\overline{1 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6}$
 K

Stromflußdauer: 1 sec. mit Zeitschaltuhr

Entfernung der Papillen: Sofort nach der Stichelung

Fixierung: Carnoy

Schnittschema:	$\overline{1 \text{ / } 1}$	1-5-10-15-20 ... 170
	$\overline{\text{ / } 1 \text{ " } 2}$	1-5-10-15-20 ... 175
	$\overline{\text{ / } 2 \text{ " } 3}$	1-5-10-15-20 ... 115
	$\overline{\text{ / } 3 \text{ " } 4}$	1-5-10-15-20 ... 145
	$\overline{\text{ / } 4 \text{ " } 5 \text{ " } 6}$ K	1-5-10-15-20 ... 175

Färbung bei allen Papillen:

1-10-20-30-40-50-60 ...	HE
5-15-25	Spezialfärbung
35-45-55	Goldnerfärbung
65-75-85	Spezialfärbung
95-105-115	Goldnerfärbung usw.

Pat. V, FrI. J.:

Anästhesie: Scandicain N

Stichelung: Erbotom K 25, Stufe 5, Einzel- und Doppelelektrode

$$\underline{5 \text{ } ^K \text{ } 4 \text{ " } 3 \text{ " } 2 \text{ " } 1 \text{ / } 1 \text{ " } 2 \text{ " } 3 \text{ " } 4 \text{ } ^K \text{ } 5 \text{ } ^K \text{ } 6}$$

Stromflußdauer: 1 sec. mit Zeitschaltuhr

Entfernung der Papillen: Sofort nach der Stichelung

Fixierung: Carnoy

Schnittschema:

$\overline{\text{ / } 1 \text{ " } 2 \text{ " } 3}$	1-5-10-15-20 ... 235
$\overline{\text{ / } 3 \text{ " } 4 \text{ } ^K \text{ } 5 \text{ } ^K \text{ } 6}$	1-5-10-15-20 ... 205
$\overline{1 \text{ / } 1}$	1-5-10-15-20 ... 145
$\overline{2 \text{ " } 1 \text{ /}}$	1-5-10-15-20 ... 175
$\overline{3 \text{ " } 2 \text{ /}}$	1-5-10-15-20 ... 205
$\overline{4 \text{ " } 3 \text{ /}}$	1-5-10-15-20 ... 175
$\overline{5 \text{ } ^K \text{ } 4 \text{ /}}$	1-5-10-15-20 ... 175

Färbung: 1-10-20-20-40 ... Spezialfärbung

5-15-25-35-45 ... Goldnerfärbung

Pat. VI, Herr T.:

Anästhesie: Baycain grün

Stichelung: Erbotom K 25, Stufe 5, Einzelelektrode

2° 1 / 1° 2

Stromflußdauer: 1 sec. nach Gefühl

Entfernung der Papillen:

2° 1 / sofort nach der Stichelung

1 / 1° 2 drei Tage nach der Stichelung

Fixierung: 2° 1 / Carnoy

1 / 1 Carnoy

/ 1° 2 Formalin

Schnittschema und Färbung:

2° 1 / Schnitt Nr. 1-2-3-4-5-6 ... alles Spezialfärbung

1 / 1 Schnitt Nr. 1-2-3-4-5-6 ... alles Spezialfärbung

/ 1° 2 Schnitt Nr. 1-10-20-30 ... alles HE

Pat. VII, Herr M.:

Anästhesie: Baycain grün

Stichelung: Erbotom K 25, Stufe 5, Einzel- und Doppelelektrode

2° 1 / 1 2 3

Stromflußdauer: 1 sec. mit Zeitschaltuhr

Entfernung der Papillen: Drei Tage nach der Stichelung

Fixierung: Carnoy

Schnittschema: / 1 2 3 1-5-10-15-20 ... 145

1 / 1 1-5-10-15-20 ... 145

2° 1 / 1-5-10-15-20 ... 175

Färbung bei allen Papillen: 1-10-20-30 ... Spezialfärbung

5-15-25 HE

35-45-55 Goldnerfärbung

65-75-85 HE

95-105-115 Goldnerfärbung usw.

Pat. VIII, Herr D. :

Anästhesie: Baycain grün

Stichelung: Erbotom K 25, Stufe 5, Einzel- und Doppelelektrode

3 ° 2 ° 1 / 1 ° 2 ° 3

Stromflußdauer: 1 sec. mit Zeitschaltuhr

Entfernung der Papillen: Acht Tage nach der Stichelung

Fixierung: Formalin

Schnittschema: 3 ° 2 ° 1 / 1-10-20 ... 170

/ 1 ° 2 ° 3 1-10-20 ... 200

Färbung bei allen Papillen:

HE. / 1 ° 2 ° 3 Schnitt Nr.65-75-85
Spezialfärbung.

Dieses Untersuchungsmaterial wurde morphologisch und histochemisch untersucht. Die morphologische Untersuchung befaßte sich mit der Änderung des färberischen Verhaltens nach der Koagulation und den strukturellen Veränderungen. Außerdem wurde die Reaktion der Papillen auf die Ignipunktur nach drei und acht Tagen untersucht. Im histochemischen Teil wurde versucht, wenigstens einige histochemische Veränderungen aufzuzeigen. Die genaue Klärung der histochemischen Vorgänge bei der Koagulation bleibt einer späteren Arbeit vorbehalten.

b) Morphologische Veränderungen

Die allgemein übliche Hämatoxylin-Eosin-Färbung = HE (Romeis, B. (1948, S.156, Rezept Nr.659)) wurde angewandt, um einen Überblick über die Veränderungen durch die Koagulation zu bekommen. Die Modifikation der Massonschen Trichromfärbung nach Goldner (Romeis, B. (1948, S.348, Rezept Nr.1498)) zeigt durch den Farbunterschied von Grau-Violett nach Ziegelrot besonders schön die Grenzen der thermischen Epithelschädigung. Die Spezialfärbung in Anlehnung an Ross, O. A. and Walker, C. J. (1953, S.379) (Rezept siehe Abschnitt II. A.4) machte durch die Farbdifferenz von Blau nach Gelb die Grenze des geschädigten Kollagens deutlich. Da die Spezialfärbung nach Ross, O. A. and Walker, C. J. auf der Anwesenheit wasserlöslicher Substanzen beruhen soll, wurde die Färbung auch noch einmal bei den nach drei Tagen entfernten Papillen vorgenommen, um den Nachweis zu erbringen, daß die

Farbdifferenz dann nicht mehr auftritt. Die Reaktion der Papillen auf die Stichelung wurde an den nach drei und acht Tagen entfernten Papillen untersucht. Im einzelnen zeigten sich folgende morphologische Veränderungen:

Direkt nach der Stichelung:

α) Färberische Änderungen

1. Epithel: Nach der HE-Färbung erscheinen die Kerne beim unveränderten Epithel wegen ihrer Basophilie violett, nach der Koagulation färben sie sich noch intensiver mit Kernfarbstoff und beherrschen dadurch das Bild. Das Cytoplasma des unveränderten Epithels ist nicht so stark eosinophil wie das Bindegewebe und hat eine rosa-violette Färbung. Nach der thermischen Schädigung wird das Cytoplasma körnelig, behält seine Eosinophilie oder verstärkt sie noch leicht. Dieselbe Beobachtung hat auch Keyser, F. (1931, S.43) gemacht.

Auch bei der Goldner-Färbung färben sich die Kerne nach der Alteration intensiver, ändern aber ihre braun-schwarze Färbung nicht. Dagegen verändert das Cytoplasma seine grau-violette Färbung durch die Erhitzung in eine rot-violette bis ziegelrote Farbe - je nach Schädigungsgrad - und erscheint auch körnelig.

Bei der Spezialfärbung ändert das alterierte Epithel seine Färbbarkeit kaum, die Kerne erscheinen in beiden Fällen gelb; das Cytoplasma wird durch die Schädigung nur noch blasser blau als es vorher war.

2. Bindegewebe: Die Veränderungen der Kerne der Bindegewebszellen und des entzündlichen Zellinfiltrates verlaufen bei allen drei Färbungen in der gleichen Weise, wie sie beim Epithel beschrieben worden sind.

Das Cytoplasma und die kollagenen Fasern werden bei der HE-Färbung nach Formalinfixierung leicht basophil, nach Carnoyfixierung bleibt die Eosinophilie erhalten oder verstärkt sich noch. Das Auftreten einer leichten Basophilie der kollagenen Fasern stimmt mit den Beobachtungen von Mieremet, C. W. G. (1923, S.1363) und Keyser, F. (1931, S.43) überein. Warum das Bindegewebe nach der wasserfreien Carnoyfixierung eosinophil erscheint, ist im Rahmen dieser Arbeit nicht geklärt worden. Es hängt vielleicht damit zusammen, daß irgendwelche lipoidlöslichen Stoffe durch das Carnoy herausgelöst worden oder wasserlösliche Stoffe erhalten geblieben sind, die bei der normalen Formalinfixierung verloren gegangen wären.

Nach der Goldnerfärbung färbt sich das Bindegewebe nicht mehr grün, sondern verliert nach der Hitzeeinwirkung seine Färbbarkeit. Es erscheint - je nach Schädigungsgrad - hellgrün bis weiß.

Die Anfärbbarkeit der kollagenen Fasern bei der Spezialfärbung ändert sich vom Erhitzungsrand zum Zentrum hin von hell türkisblau über intensiv gelb bis hellgelb entsprechend dem Schädigungsgrad.

Bei der van Gieson-Färbung stellte Mieremet, C. W. G. (1923, S.1363) eine Änderung des Farbtones des koagulierten Bindegewebes von granatroten nach gelbrot fest.

Diese Veränderung der Anfärbbarkeit nach Hitzeeinwirkung beim Epithel und beim Bindegewebe machte darauf aufmerksam, neben strukturellen auch histochemische Veränderungen zu berücksichtigen. Durch die Beobachtung, daß sich bei der Goldnerfärbung Horn und schwer geschädigtes Epithel ziegelrot, bei der Spezialfärbung Horn, erhitztes Kollagen und die Kerne gelb färbten, wurde daran gedacht, daß es vielleicht eine bestimmte Molekülgruppierung sei, die die gleiche Färbung hervorruft. Bei näherer Beschäftigung mit dem Gebiet der Histochemie stellte sich aber heraus, daß man von dem gleichen Ausfall einer Färbung nicht auf das Vorliegen ein und desselben Stoffes schließen kann, da nur Theorien über die Vorgänge bei den empirisch gefundenen Färbungen vorliegen (Salzbildung, Lackfärbung usw.). Dieser Schluß ist nur erlaubt, wenn es sich um genau definierte Reaktionen handelt, wie sie bei einigen histochemischen Nachweisreaktionen bekannt sind. Die Dinge komplizieren sich noch dadurch, daß schon durch das Fixierungsmittel unkontrollierbare Reaktionen im Gewebe eintreten und Stoffe herausgelöst werden können, wie der unterschiedliche Ausfall der HE-Färbung an koaguliertem Bindegewebe nach Formalin- und Carnoyfixierung zeigt. Auch die Forderung von Ross, O. A. und Walker, C. J. (1953, S.379) nach einem wasserfreien Fixierungsmittel macht dies deutlich. Die Goldner- und Spezialfärbung sind also nur zum Herausstellen der geschädigten Bezirke verwendbar, sagen aber nichts über die histochemischen Veränderungen aus. Diese werden in einem gesonderten Abschnitt untersucht werden.

ß) Strukturelle Veränderungen

1. Epithel: Die leichteste, strukturell sichtbare Schädigung des Epithels bestand in einem Körnelig-Werden des Cytoplasmas (Abb.16). Bei schwerer Schädigung war die typische Ordnung des Epithels aufgehoben. Bei starker Hitzekoagulation war, besonders in den obersten Lagen, keine Ordnung mehr erkennbar. In der Basalschicht wurden die spindeligen Zellen noch langgestreckter und formten Bündel und wellenförmige Stränge (Abb.17). In der obersten, abgehobenen Schicht erfolgte eine Bildung von Blasen, die mit Serum und etwas Blut gefüllt waren.

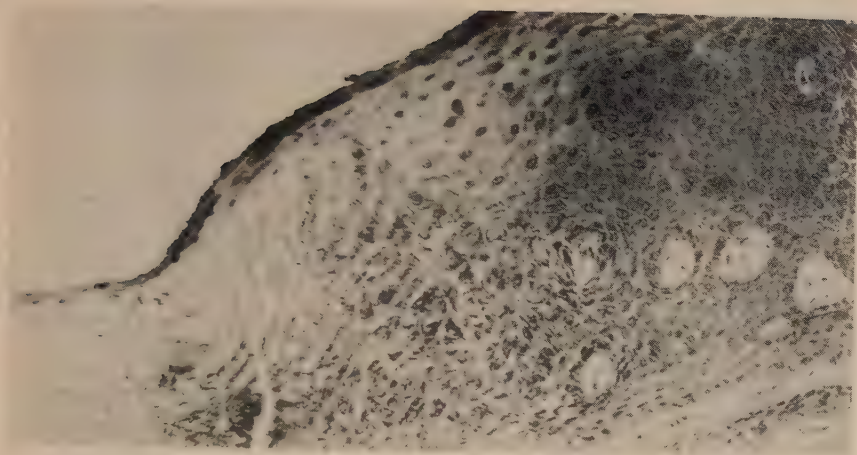


Abb. 16 : Pat. IV, 1/1 Schnitt Nr. 45, Goldnerfärbung. Vergr.: 180 x

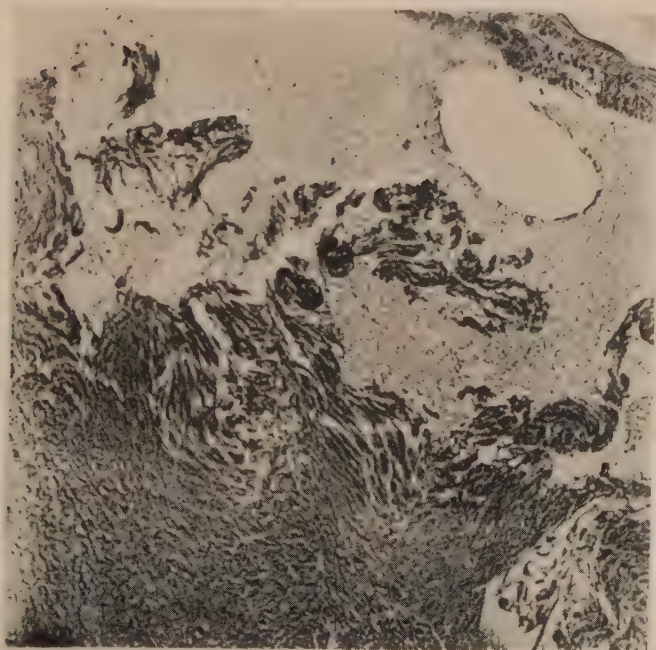


Abb. 17 : Pat. IV, 1/1 Schnitt Nr. 40,
HE-Färbg., Vergr.: 180 x

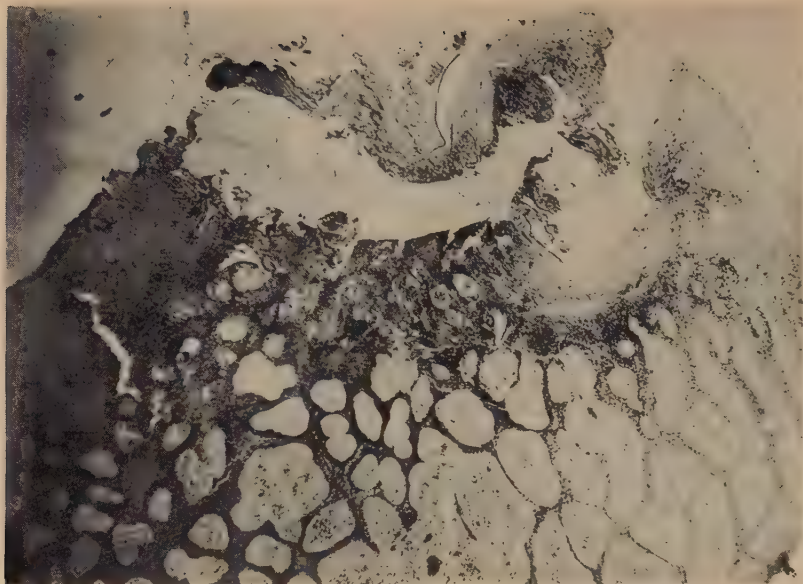


Abb. 18 a : Pat. IV, 1/1 Schnitt Nr. 40, HE-Färbg., Vergr.: 47 x
Doppelelektrode



Abb. 18 b : Pat. I, Schnitt Nr. 230, HE-Färbg., Vergr.: 37 x
Einzelelektrode

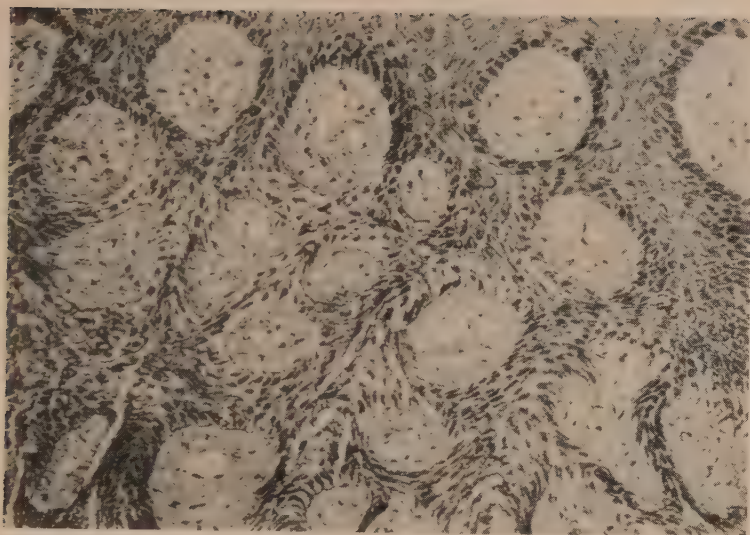


Abb. 19 : Pat. V, 1/1 Schnitt Nr. 75, Goldnerfärbg., Vergr. : 180 x

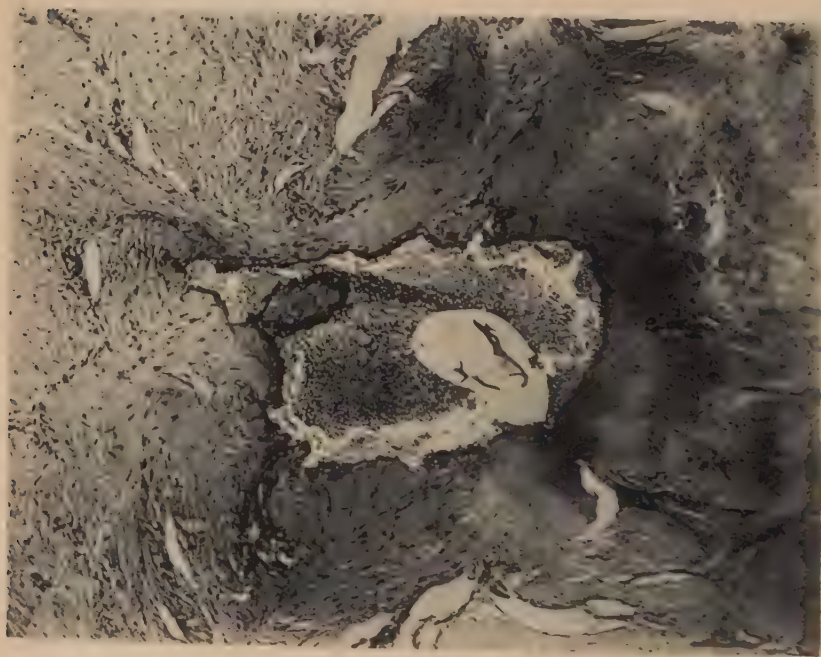


Abb. 20 a

Pat. I, Schnitt Nr. 150, HE-Färbg., Vergr.: 90 x

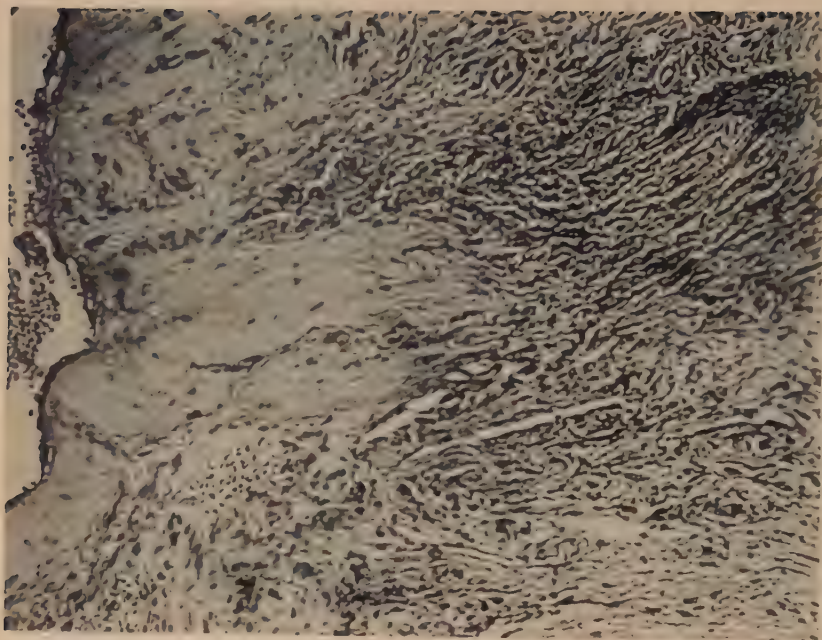


Abb. 20 b

Vergr.: 180 x

Im allgemeinen waren die Veränderungen bei der Behandlung mit der Doppelelektrode schwerer als mit der Einzelelektrode (s. Abb.18a + b, Begründung s. Abschnitt II A 3).

Interessant war die Beobachtung, daß in der Übergangszone vom koagulierten zum unveränderten Gewebe die Basalschicht des Epithels schon Veränderungen zeigte, während das Bindegewebe noch unverändert war. Dies sah man am deutlichsten bei einem Flachschnitt durch die Papillae occultae (s. Abb.19), wo die Basalzellen des Epithels schon spindelig ausgezogen waren, während die Bindegewebszapfen noch nicht angegriffen schienen. Die Erscheinung läßt sich darauf zurückführen, daß die kollagenen Fasern des Bindegewebes einen sehr viel geringeren Stoffwechsel und eine dadurch bedingte Resistenz gegenüber Schädlichkeiten haben als die Regenerationszone des Epithels, die Basalschicht.

2. Bindegewebe: Durch die Hitzeeinwirkung bei der Stichelung erschienen die kollagenen Fasern homogenisiert und verloren ihre Struktur. Die Kerne des Bindegewebes und des entzündlichen Infiltrates wurden deformiert und pyknotisch. Bei Schnitten senkrecht zum Schnittkanal, in dem oft einige Erythrocyten lagen, war dieser von einem Mantel aus verquollenen Bindegewebsfasern umgeben (s. Abb.20 a + b), die ihre Anfärbbarkeit bei jeder Färbung deutlich geändert hatten (S. Abb.21 a).

Die Veränderungen um die Doppelelektrode waren auch bei der Untersuchung des Bindegewebes sehr viel stärker ausgeprägt als um die Einzelelektrode, bei der erst nach drei bis vier dicht nebeneinander liegenden Einstichen die Gelbfärbung des Kollagens deutlich in Erscheinung trat (s. Abb.21 a + b).

Bei der Carnoyfixierung schrumpfte das Gewebe durch den völligen Wasserentzug so stark, daß in den meisten Fällen der Stichkanal nicht mehr sichtbar war. Dafür zeigten alle Schnitte an der Koagulationsstelle Falten, während das darumliegende, unveränderte Gewebe faltenlos gestreckt war. Man kann es vielleicht so erklären, daß das durch die Koagulation schon ausgetrocknete Gewebe bei dem plötzlichen Wasserentzug im wasserfreien Carnoy nicht mehr soviel schrumpfen konnte wie das umgebende gesunde Gewebe und sich deshalb durch den Außendruck in Falten legte.

In einigen Fällen, bei denen der Einstich der Doppelelektrode als zwei mit Erythrocyten gefüllte Hohlräume noch sichtbar war, konnte anhand des Farbunterschiedes durch die Spezialfärbung nachgewiesen werden, daß die Koagulation auch außerhalb der beiden Nadeln der Doppelelektrode stattfindet, wie im Abschnitt II A 3) aus Überlegungen gefolgert wurde (s. Abb.22).

Die Untersuchungsergebnisse der Papillen, die direkt nach der Stichelung entfernt worden sind, stimmen also im großen und ganzen mit den Beobachtungen Immenkamps (1931, S. 2253 u. S. 2308; 1932, S. 573; 1933, S. 129-139) überein, die er an Funkenschnittpräparaten gewonnen hatte. Nur sind die Veränderungen auf kleineren Raum beschränkt und die schwereren Veränderungen treten nur bei der Stichelung mit der Doppelelektrode auf.

Um einen Überblick über die Größenordnung der Veränderungen zu bekommen, wurde der Durchmesser einiger Präparate mit der größten Ausdehnung des koagulierten Gebietes gemessen, das sich in der Spezialfärbung als gelber Hof, in der HE-Färbung als verquollenes, dunkleres Gebiet um den Stichkanal darstellte. Zwischen dem 50. und 150. Schnitt - d.h. in einer Tiefe von $1/2$ bis $1\frac{1}{2}$ mm bei einer Schnittdicke von 10μ - waren die Veränderungen am ausgeprägtesten. In den ersten und letzten Schnitten jeder Papille war der Stichkanal gar nicht oder nur ungünstig getroffen, da Schnitt- und Einstichrichtung meist nicht genau senkrecht aufeinander gestanden hatten. Gleichzeitig war dies neben der unkontrollierbaren Schrumpfung der Papillen im Carnoy-Fixativ der Grund, warum die gemessenen Werte nur als Anhalt dienen können. Außerdem war die Abgrenzung der Veränderungen keine gerade Linie, sondern sie ragte je nach Leitfähigkeit und Feuchtigkeitsgehalt der verschiedenen Gewebeteile verschieden tief in das Gesunde hinein. Der Mittelwert zwischen der geringsten und weitesten Ausdehnung der Koagulation wurde als Grenze angenommen. Wegen der nicht senkrechten Schnittführung stellte sich der koagulierte Komplex um den Stichkanal nicht kreisrund, sondern als Oval mit größtem und kleinstem Durchmesser dar.

Folgende Werte wurden gemessen:

Einzelelektrode:

Pat. I, Schnitt Nr. 150, Formalinfixierung, HE-Färbung

Größter Durchmesser: 750μ
Kleinsten Durchmesser: 450μ

Breite des verquollenen Gürtels

allein: $150-225\mu$

Schnitt Nr. 220, Formolfixierung, HE-Färbung

Gr. Durchm.:	1050μ	Kl. Durchm.:	600μ
"	765μ	"	600μ
"	750μ	"	450μ



Abb. 21 a : Pat. IV, / 1.,2 Schnitt Nr. 75, Spezialfärbg. Vergr.: 42 x
Doppelelektrode

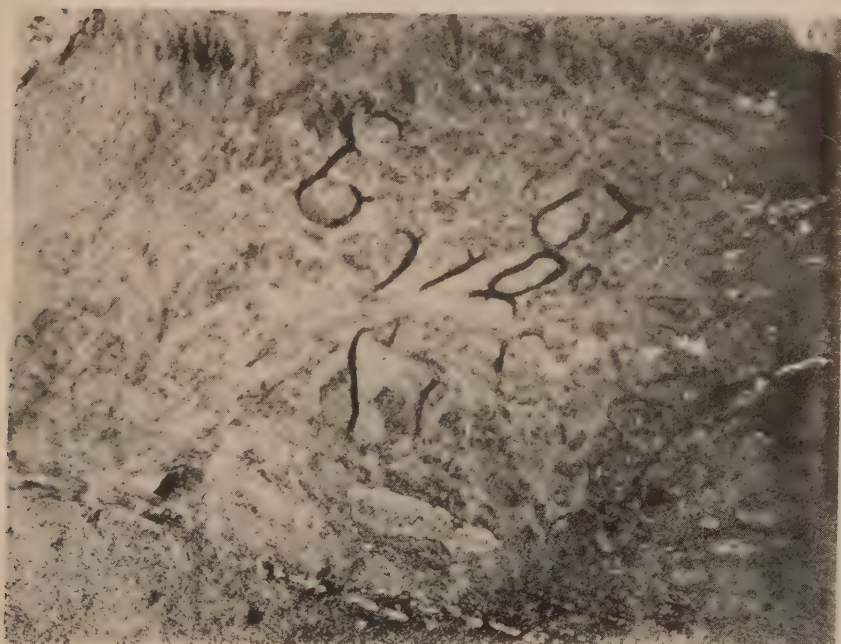


Abb. 21 b : Pat. V, ^{7°} 3°2 / Schnitt Nr. 70, Spezialfärbg. Vergr.: 42 x
Einzelelektrode



Abb. 22

Pat. V, / 1^o 2^o 3 Schnitt
Nr. 130, Spezialfärbung.
Vergr. : 42 x

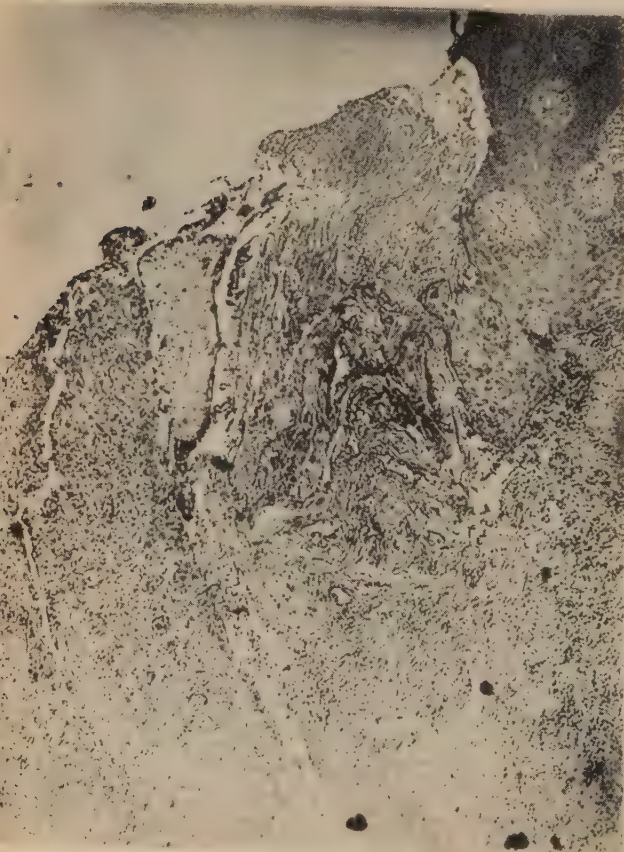


Abb. 23

Pat. VII, 2^o 1 /,
Schnitt Nr. 45

HE-Färbung,

Vergr.: 70 x

Drei Tage nach der
Stichelung

Schnitt Nr.170, Formolfixierung, HE-Färbung

Gr. Durchm.:	1050 μ	Kl. Durchm.:	675 μ
" :	900 μ	" :	675 μ
" :	750 μ	" :	600 μ
" :	1050 μ	" :	765 μ

Pat. V, 3² / Schnitt Nr.70, Carnoyfixierung, Spezialfärbung

Größter Durchmesser des durch drei Einstiche erzielten gelbes Hofes:
750 μ

Kleinsten Durchmesser: 450 μ

Doppelelektrode:

Pat. IV, 1² Carnoyfixierung, Spezialfärbung

Schnitt Nr.75:	Gr. Durchm.:	1650 μ	Kl. Durchm.:	1050 μ
" " 125:	" :	1800 μ	" :	1200 μ
" " 135:	" :	1950 μ	" :	1050 μ
" " 145:	" :	1800 μ	" :	1050 μ

1¹ / 1 Carnoyfixierung, Spezialfärbung

Schnitt Nr.75:	Gr. Durchm.:	1050	Kl. Durchm.:	680
----------------	--------------	------	--------------	-----

Pat. V, 1²3 Schnitt Nr.90-100-110, Carnoyfixierung, Spezialfärbung

Gr. Durchm.:	1350 μ	Kl. Durchm.:	1350 μ
" :	1350 μ	" :	1200 μ
" :	1500 μ	" :	1350 μ
" :	1200 μ	" :	1200 μ
" :	1350 μ	" :	1275 μ

Man sieht also, daß durch die Einzelelektrode ein Gewebstück von maximal 1/2 bis 1 mm Durchmesser koaguliert wird, während die Koagulationszone bei der Doppelelektrode einen Durchmesser von 1 bis 2 mm hat. Neben dem größeren Durchmesser wird das Gebiet bei der Doppelelektrode durch die größere Hitzeentwicklung mehr geschädigt, wie das Verhalten der Färbbarkeit und die strukturellen Veränderungen zeigen. Da nach Allgöwer, M. und Siegrist, J. (1957, S.6) die durch eine hohe Temperatur entstandene Koagulationsnekrose nicht autolytisch abgebaut und organisiert wird im Gegensatz zu der bei einer niedrigeren Temperatur entstandenen Nekrose, ist dieser Unterschied zwischen Einfach- und Doppelelektrode wahrscheinlich auch in Hinsicht auf die Heilung wichtig.

Wie tief die Veränderungen noch unter die Nadelspitze reichen, konnte nicht exakt geklärt werden, da nicht in allen Schnitten ein deutlicher Stichkanal zu sehen war. Nach dessen Aufhören hätte man sonst die Anzahl der Schnitte, in denen noch Veränderungen wahrnehmbar waren, bestimmen und daraus die Tiefe berechnen können. Wenn man aber nach Abschnitt II A 4) und Abb. 11 und 12 annimmt, daß der Pol des ellipsoidförmigen Koagulationsherdes höchstens die Länge eines Radius dieses Ellipsoids unterhalb der Nadelspitze liegt, so würde die Koagulationszone bei der Einfachelektrode $1/4$ bis $1/2$ mm unterhalb der Nadelspitze aufhören, bei der Doppelelektrode $1/2$ bis 1 mm. Daraus folgt, daß sich die Ausdehnung der Koagulation bei einer mittleren Einstellung des Diathermiegerätes auf jeder Seite der differenten Elektrode innerhalb der Grenzen eines Millimeters bewegt.

Drei Tage nach der Stichelung:

Da die Wirkung der Diathermiestichelung, nämlich die narbige Kontraktion der Gingiva, bekannt ist, und es auf Schwierigkeiten stößt, den Patienten klarzumachen, daß die gestichelten Papillen abgeschnitten werden sollen, wurden die Untersuchungen nach drei und nach acht Tagen nur an einigen Präparaten durchgeführt. Es bot sich folgendes Bild:

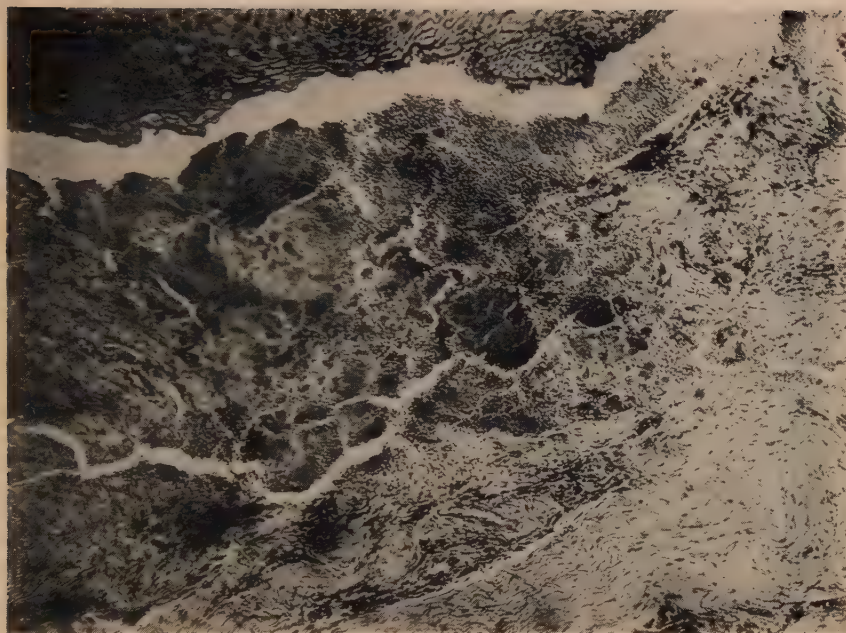
Wo die Einstichstelle gewesen war, befand sich ein nekrotischer Keil. Vom Epithel fanden sich noch schmale, bandartige, nekrotische Reste in einem leukocytenhaltigen Fibrinschorf, der die Wundfläche bedeckte. In der Tiefe des nekrotischen Keils befanden sich Reste von kernlosem kollagenen Bindegewebe mit Leukocyten durchsetzt. Um das nekrotische Gebiet spielte eine reaktive Entzündung, die sich durch Plasmazellen auszeichnete (s. Abb. 23). Die Farbdifferenz bei der Spezialfärbung zwischen dem alterierten und gesunden Kollagen war nach drei Tagen nicht mehr nachweisbar, alles erscheint jetzt einheitlich blau.

Zum Vergleich zu den Ausmaßen der frischen Koagulationszonen bei der Doppelelektrode betrug die Größe der Nekrose z. B.:

<u>Pat. VII,</u>	<u>2 „1 /</u>	<u>Schnitt Nr. 45 (Abb. 23):</u>	<u>Größter Durchm.: 1200 μ</u>
			<u>Kleinsten Durchm.: 600 μ</u>

Acht Tage nach der Stichelung:

Das Epithel zeigte Regenerate und Atypien, wie sie bei Renerationen vorkommen. Einige Stellen waren noch nicht überhäutet. Die Reste des noch nicht resorbierten, nekrotischen Epithels waren von einem Fibrinschorf bedeckt, in



**Abb. 24 : Pat. VIII, 3'2'1 / , Schnitt Nr. 10, HE-Färbg., Vergr.: 90 x
Acht Tage nach der Stichelung**



Abb. 25 a
Pat. I, Schnitt Nr. 33, PAS-Färbg., Vergr.: 120 x



Abb. 25 b :
Gleiche Präparatstelle wie Abb. 25 a, jedoch
im polarisierten Licht, Vergr.: 120 x

dem Leukocyten und Pilze vorhanden waren (s. Abb.24). Auch das nekrotische Bindegewebe war noch nicht vollständig resorbiert, sondern es fanden sich noch Reste, die teilweise dystrophische Verkalkung zeigten. Die übrige Papille war noch chronisch entzündet, denn der Veränderungen um einen einzigen Einstich waren zu gering, um die ursprüngliche Entzündung in der ganzen übrigen Papille zum Verschwinden bringen zu können.

Um therapeutischen Erfolg zu haben, müßte man viele Stiche wabenartig nebeneinander setzen, wie es Mathis, H. (1948, S.316) angegeben hat, damit die aus den punktförmigen Koagulationen sich bildenden Narben ganz dicht nebeneinander zu liegen kämen und die chronische Entzündung verdrängen könnten.

II. C. HISTOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN

Durch die veränderte Anfärbbarkeit des Bindegewebes wurden wir auf die Möglichkeit histochemisch faßbarer Veränderungen durch die Hitzeeinwirkung aufmerksam und versuchten, solche histochemisch nachzuweisen. Da die kollagenen Fasern um den Stichkanal gequollen und strukturlos erschienen, wurde versucht, mittels Untersuchungen im polarisierten Licht festzustellen, ob sich der Feinbau der Faser geändert hat. Neben der Untersuchung, wie sich die Eigenfluoreszenz im geschädigten Gebiet verändert hat, erfolgte weiter eine Überprüfung der sauren und neutralen Mucopolysaccharide.

1) Änderung der Doppelbrechung

Die Untersuchung über das Verhalten der Doppelbrechung wurde an ungefärbten, formolfixierten, gründlich entparaffinierten Schnitten durchgeführt. Um die Ausdehnung der verquollenen Zone mit der Zone eventuell veränderter Doppelbrechung besser vergleichen zu können, wurden Kontrollen an gefärbten Präparaten angestellt. Dies war möglich, weil - wie sich bei den Untersuchungen ergab - die Doppelbrechung nicht wesentlich von der Färbung beeinflusst wurde.

Die Doppelbrechung der kollagenen Fasern wurde bei der Ignipunktur rings um den Stichkanal völlig aufgehoben. Die Ausdehnung dieser Zone war etwas geringer als die Zone der Verquellung. In beiden Fällen war der Übergang nicht scharf (s. Abb. 25 a + b und Abb.28 a + b).

Die Gründe für das Auftreten einerseits und den Verlust der Doppelbrechung andererseits sind folgende (wobei insbesondere auf die eingehenden Untersuchungen von Schmidt, W.J. über die Polarisierung verwiesen wird):

a) Die Aminosäuren, welche die kollagenen Fasern aufbauen, sind optisch aktiv wegen ihrer vier verschiedenen Substituenten an ihrem α -Kohlenstoffatom.

Diese Doppelbrechung zeigt sich aber nur an geordneten Verbänden, weil die Wirkung einer einzigen Molekel zu winzig ist (Schmidt, W.J. (1939, S.353)). Schließen sich nun die Aminosäuren durch peptidische Bindung zu Fadenmolekeln zusammen und "treten die Fadenmolekel zu Faserstruktur zusammen, so werden sie mehr oder minder starr und gestreckt" (l.c. S.312), und wir haben es mit einem geordneten Verband zu tun, an dem sich die sogenannte Eigendoppelbrechung deutlich zeigt. Sie ist bei einer Proteinfibrille und der kollagenen Faser einachsigt positiv in bezug auf ihre Länge = optische Achse (l.c. S.353). Der Zusammenhalt der einzelnen Fadenmolekeln in einer Fibrille und damit die strenge Orientierung, die für das Auftreten der Doppelbrechung verantwortlich ist, wird durch chemische Bindung zwischen den Seitenketten und durch Kohäsion - van der Waalscher intermolekularer Kräfte - gewährleistet. "Eine wesentliche Rolle für die Kohäsionsvermittlung spielt aber auch bei den Fadenmolekeln das in den Feinbau eingelagerte Wasser, das - selbst von hoher Kohäsion - von den hydrophilen Baugruppen benachbarter Molekeln erfaßt wird (Hydrationswasser) und so diese verkettet.

In manchen Fällen scheint die Anwesenheit von Wasser Bedingung für die Erhaltung des Feinbaus zu sein (Strukturwasser), so bei kollagenen Fasern" (l.c. S.320).

b) Eine kollagene Fibrille kann man sich aus parallelisierten Vollzylindern, den Fadenmolekeln, aufgebaut denken, zwischen denen ein Medium mit abweichender Brechzahl, nämlich Wasser, eingelagert ist. Als Wienerischer Zylindermischkörper ist die sogenannte Formdoppelbrechung bei der Fibrille positiv mit der optischen Achse parallel der Länge, d.h. bei der Proteinfibrille und der kollagenen Faser addieren sich Form- und Eigendoppelbrechung (zit. n. Schmidt, W.J. (1939, S.354,355,358)).

Der Verlust der Doppelbrechung durch thermische Beeinflussung geht auf einen Verlust der strengen Orientierung der Fadenmolekeln zurück, was man auch im Röntgendiagramm nachweisen kann (Schmidt, W.J. (1954, S.87)). Der Grund dafür ist folgender: "Unter dem Einfluß der Wärme schwingen die verschiedenen Abschnitte der Molekeln infolge der freien Drehbarkeit des Valenz-

winkels unregelmäßig gegeneinander; dabei ist thermodynamisch der gestreckte Zustand der unwahrscheinlichste." Durch diese Verdrehung der Valenzwinkel kommt es zu einer Schlängelung der Fadenmoleküle, was eine Verkürzung derselben nach sich zieht. "Man hat den Vorgang auch verglichen mit dem Schmelzen der Kristallite in dem eigenen Strukturwasser, bei dessen Herauslösen die Fadenmolekeln zusammenknicken" (Schmidt, W.J. (1939, S.375)).

Durch die thermische Beeinflussung geht also einmal die Eigendoppelbrechung verloren, da kein geordneter Verband mehr vorliegt, und zum anderen schwindet die Formdoppelbrechung, da das Wasser zwischen den verkürzten Fadenmolekeln = Vollzylindern verkocht. Wäre der Zusammenhalt der Fadenmolekeln in der kollagenen Faser nicht nur hauptsächlich durch das Strukturwasser, sondern durch festere chemische Bindungen - wie man es durch Behandlung mit Phenolen erreichen kann und wie es von Natur aus bei der Elastoidinfaser der Fall ist - gewährleistet, so würden sich die Fibrillen in der kollagenen Faser nach der thermischen Alteration wieder orientieren und die Doppelbrechung würde wieder erscheinen (zit. n. Schmidt, W.J. (1958, S.180)). Ab welcher Temperatur der Verlust der Doppelbrechung eintritt, ist nicht genau bekannt.

Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, daß uns die Zone fehlender Doppelbrechung zeigt, inwieweit es durch die Ignipunktur um den Stichkanal zu einem Verlust von Strukturwasser gekommen ist.

2) Änderung der Primärfluoreszenz

An formolfixierten, gründlich entparaffinierten, ungefärbten, mit Glycerin eingedeckten Schnitten wurde die Primärfluoreszenz, d.h. "die Eigenfluoreszenz, die primär von der Struktur ausgesandt wird" (Gottschewsky, G. H. M. (1954, S.147)), untersucht. Es wurde mit einer Quecksilberdampf Hochdrucklampe gearbeitet. Zur Blaulichterregung wurde das Erregerfilter Schott UG1 2 mm in Verbindung mit dem Okularsperrfilter GG 9 benutzt. Die Untersuchungen im ultravioletten Bereich wurden mit dem Erregerfilter UG 1 4 mm und dem Okularsperrfilter OG 1 durchgeführt.

Bei der Blaulichterregung fluoreszierte das Präparat hellgrün, bei der UV-Erregung bläulich-weiß. In beiden Fällen hob sich ein schmaler, unregelmäßig begrenzter, hell fluoreszierender Saum um den Stichkanal deutlich von der Umgebung ab (s. Abb.26). Der Saum war sehr viel schmaler als der Bezirk, in dem die Doppelbrechung verloren gegangen war und die Hale-sche Reaktion (s. später) negativ ausfiel.

Die Erklärung des verstärkten Auftretens von Primärfluoreszenz um den Stichkanal ist schwierig, da "mangels spektrographischer Untersuchungen eine histochemische Zuordnung 'solcher' Fluoreszenzerscheinungen an besondere Verbindungen heute im allgemeinen noch nicht möglich ist" (de Lerma, B. (1958, S.109)).

Nur folgende Tatsachen sind bekannt: Native Eiweißkörper zeigen keine oder nur geringe Primärfluoreszenz. Eine Eigenfluoreszenz wird erst nach der bei der üblichen Fixation des Gewebes erfolgenden Denaturierung deutlich (Schümmelfeder, N. (1956, S.255)), und ist nach Hamperl, H. (1934, S.1-51) der vorausgegangenen Fällung der Eiweißkörper zuzuschreiben. Was im einzelnen bei der Denaturierung durch die verschiedenen Denaturierungsmittel (chemisch: Alkohol, Säure, usw., physikalisch: Hitze, Strahlen usw., mechanisch: Schütteln usw.) geschieht, ist nicht völlig geklärt.

"Es wird aber wohl auch nicht jedes Denaturierungsmittel das Proteinmolekül in gleicher Weise verändern. Alles deutet darauf hin, daß die Denaturierung eine intramelokulare Reaktion ist" (Felix, K. (1951, S.81)).

Bei der chemischen Denaturierung durch Formalin ergibt eine hinausgezögerte Fixierung eine merkliche Steigerung der Eigenfluoreszenz (Sjöstrand, F. (1944, S.1-136)). Bebrütung von α -Aminosäuren bei 40°C in Gegenwart von Formol-lösung bewirkt eine charakteristische Fluoreszenz (Loiseleur, J. und Prudhomme, R. O. (1942, S.244-257)). Ob aber die Denaturierungsvorgänge und damit die chemische Voraussetzung für die Fluoreszenzsteigerung durch die Formolbehandlung dieselben sind wie die bei der Erhitzung des Gewebes, zum Beispiel durch die Stichelung, ist noch nicht geklärt. In unserem Fall muß die Fluoreszenzsteigerung um den Stichkanal durch die Hitzeeinwirkung bei der Ignipunktur entstanden sein, da die Formoleinwirkung das ganze Präparat betraf. Es besteht die Möglichkeit, daß durch die Erhitzung in den Proteinmolekülen Voraussetzungen geschaffen worden sind - Kontrollen an nativem Material waren nicht möglich -, durch die sekundär fluorophore Gruppen, an deren Vorhandensein die Fluoreszenz gebunden ist, gebildet oder freigesetzt worden sind, eine chemische Reaktion, die auch das Formalin in besonderen Fällen bewirken kann (de Lerma, B. (1958, S.91)).

Wir fassen die Steigerung der Primärfluoreszenz als Folge der Ignipunktur (Wärmeeinwirkung) auf, wobei wir offenlassen müssen, von welcher Temperatur an diese Veränderung einsetzt und worauf sie letzten Endes zurückzuführen ist.

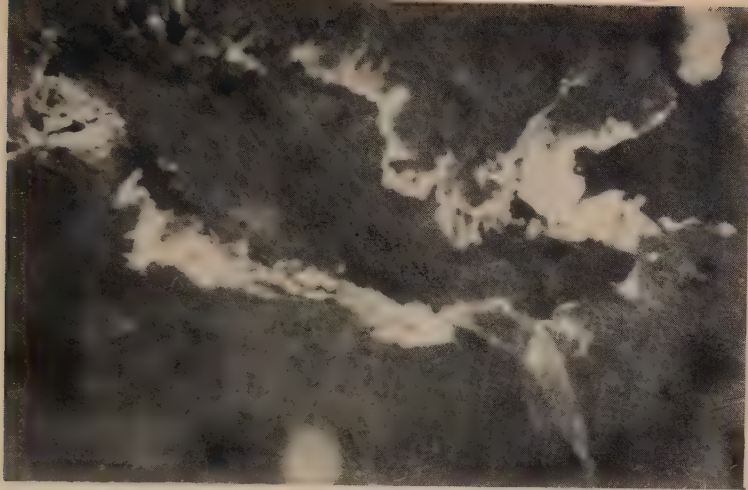


Abb. 26 : Pat. I, Schnitt Nr. 31, Blaulichterregung. Vergr.: 120 x

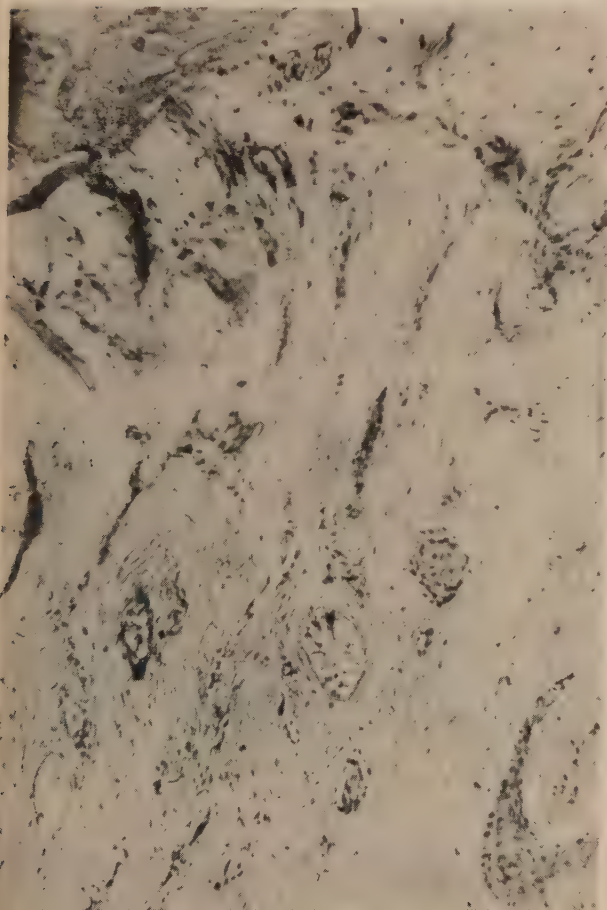


Abb. 27 : Pat. I,
Schnitt Nr. 33
PAS-Färbg.
Vergr.: 125 x

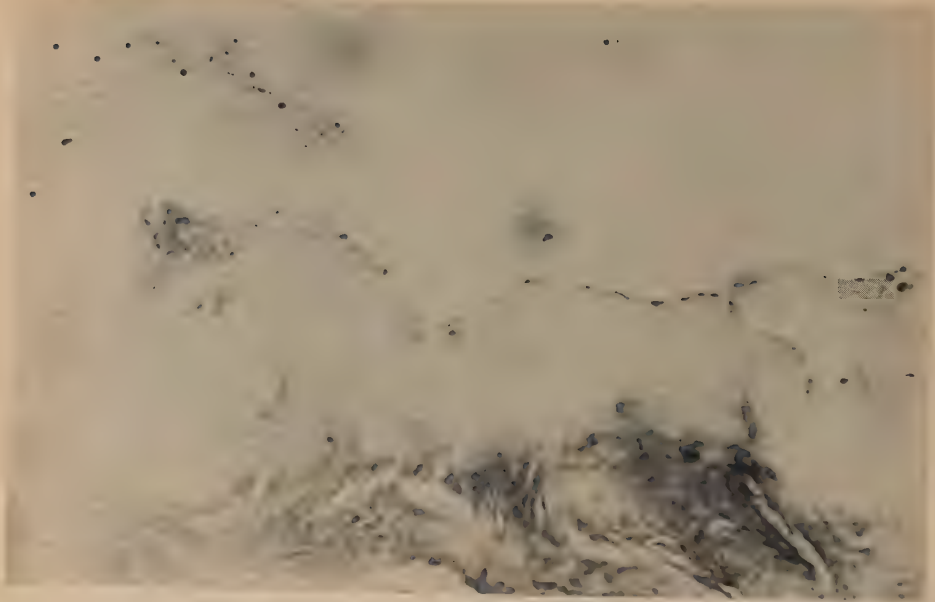


Abb. 28 a : Pat. III, Schnitt Nr. 51, Hale-Reaktion, Vergr. : 125 x



Abb. 28 b : Gleiche Präparatstelle wie Abb. 28 a, jedoch im polarisierten Licht. Vergr. : 125 x

3) Überprüfung auf saure und neutrale Mucopolysaccharide

Durch die Polarisations- und Fluoreszenzuntersuchung wurde versucht, einige Veränderungen der Proteinmoleküle und damit der kollagenen Fibrille nachzuweisen. Nach derzeit gültiger Anschauung entstehen letztere gewissermaßen an einer extrazellulären Polysaccharid-Matrix, deren Reste auch bei der ausgereiften Faser stets chemohistologisch nachweisbar bleiben. Es war daher naheliegend, auch das Verhalten solcher saurer (Hexosamine + Uronsäuren) und neutraler (Hexosamine + Hexose) Mucopolysaccharide im Bereich der gestichelten Papille zu überprüfen. Der Nachweis neutraler Mucopolysaccharide geschah durch die Periodic-Acid-Schiff-Reaktion = PAS-Reaktion, der der sauren Mucopolysaccharide durch die Hale'sche Methode in der Modifikation nach Müller und die Alcian Blue-Färbung.

Die PAS-Reaktion (Methode: Pearse, E. (1960, S. 831 f.), Theorie der Reaktion: 1. c., S. 231-248) dient zum Nachweis von Substanzen, die eine freie, nicht substituierte 1 : 2 - Glykolgruppe oder das entsprechende Amino- oder Alkylamino-Derivat, oder das Oxydationsprodukt $\text{CHOH} \cdot \text{CO}$, die α -Keto-Gruppe haben. Solche Substanzen sind:

- a) Fette und fettähnliche Substanzen (Glykolipide und Phospholipide), die aber bei der Vorbehandlung der Schnitte herausgelöst worden sind, falls sie im Bereich der gestichelten Papille überhaupt in chemohistologisch lokalisierbarer Form vorlagen.
- b) Von den Eiweißen die kleine Gruppe der Muco- und Glykoproteine, die in der Zahnpapille aber kaum vorkommen.
- c) Aus der Kohlehydratgruppe die Polysaccharide und neutralen Mucopolysaccharide, nicht aber die sauren Mucopolysaccharide.

Bei der PAS-Reaktion wird durch die Perjodsäure die 1 : 2-Glykolgruppe $\text{CHOH} \cdot \text{CHOH}$ in eine Dialdehydgruppe $\text{CHO} \cdot \text{CHO}$ gespalten, die durch das Schiff'sche Reagenz nachgewiesen wird. Die etwa vorhandenen Mucoproteine, Polysaccharide und neutralen Mucopolysaccharide werden tief purpurrot gefärbt.

Die Färbung der gestichelten Papille nach der PAS-Methode zeigte, daß die Färbung auch in der verquollenen Zone direkt um den Stichkanal erhalten geblieben ist (s. Abb. 25 a und Abb. 27). Das bedeutet, daß die neutralen Mucopolysaccharide durch die Hitzeeinwirkung nicht faßbar verändert worden sind.

Um uns dagegen zu schützen, daß einfache Zucker die Reaktion vortäuschen, wurde ein Schnitt eine halbe Stunde mit Speichel vorbehandelt.

Zur Kontrolle, daß nicht saure Mucopolysaccharide miterfaßt worden sind, ließen wir auf einen anderen Schnitt Hyaluronidase eine Stunde bei 37°C einwirken, um die sauren Mucopolysaccharide herauszulösen. In beiden Fällen war die anschließend durchgeführte PAS-Reaktion immer noch positiv, die Färbung wurde also nur durch neutrale Mucopolysaccharide bewirkt.

Die sauren Mucopolysaccharide wurden durch die Hale'sche Methode (Hale, C. W. (1946, S.157-802)), modifiziert nach Müller, G. (1955/56, S.68-70) und durch die Alcian Blue-Reaktion (Pearse, E. (1960, S.838)) nachgewiesen.

Die Reaktion nach Hale beruht auf der Affinität der freien Säuregruppen des Gewebes zu kolloidalem, dreiwertigen Eisen. Das so gebundene Eisen wird nach der Preußisch-Blau-Reaktion mit Ferrocyanid $K_4Fe(CN)_6$ sichtbar gemacht. Alle Gewebsanteile mit sauren Gruppen erscheinen dann blau. Um die Reaktion für die sauren Mucopolysaccharide spezifisch zu gestalten, muß der pH-Wert der Farblösung so weit erniedrigt werden, daß nur noch stark saure Gruppen (SO_3H und PO_4) dissoziiert sind und Eisen binden können. (Pearse, E. (1960, S.256-259)). Unerläßlich ist die Kontrolle mit Hyaluronidase, da außer sauren Mucopolysacchariden u.a. auch Nucleinsäuren und Calcium einen positiven Reaktionsausfall liefern. Alcian Blue ist ein wasserlöslicher Phthalocyanin-Farbstoff, der durch Salzbindung mit den sauren Gruppen der sauren Mucopolysaccharide - nicht aber der sauren Mucoproteine - diese blau-grün färbt (l.c., S.259-261).

Bei beiden Verfahren zeigte sich, daß in einer Zone, die etwas breiter war als die Zone der verlorenen Doppelbrechung, aber mit dem Gebiet der Verquellung übereinstimmte, keine sauren Mucopolysaccharide mehr nachgewiesen werden konnten (s. Abb.28 a + b).

Ob diese so verändert wurden, daß sie auf die Nachweismethoden nicht mehr ansprachen, wasserlöslich gemacht wurden, oder ab ihre reaktiven Gruppen mit anderen, durch die Hitzeeinwirkung entstandenen Substanzen reagierten, sei dahingestellt.

Zur Sicherstellung, daß die Färbung des übrigen, unveränderten Gewebes wirklich auf dem Vorhandensein saurer Mucopolysaccharide beruhte, wurden einige Schnitte mit Hyaluronidase vorbehandelt, worauf der ganze Schnitt negativen Reaktionsausfall zeigte.

Durch die histochemischen und physiko-chemischen Untersuchungen wurde gezeigt, daß der histologisch einheitlich verquollene und homogenisierte Bindegewebsbezirk um den Stichkanal in drei unterschiedlich reagierende Zonen zerfällt. Direkt um den Stichkanal liegt der schmale Saum verstärkter Fluo-

reszenz. Die Zone der verlorenen Doppelbrechung reicht vom Stichkanal bis nahe an die Grenze der Verquellung. Die sauren Mucopolysaccharide sind in dem ganzen Gebiet der Verquellung nicht mehr nachweisbar, während die neutralen Mucopolysaccharide unverändert erscheinen.

Diese unterschiedliche Reaktion des Gewebes ist vermutlich der Ausdruck des Temperaturgefälles Nadel - Gewebe, wenn auch im einzelnen nicht geklärt wurde, ab welcher Temperatur diese Reaktionen eintreten. Wenn dies festgestellt werden könnte, wäre es vielleicht eine indirekte Methode zur Bestimmung des Abstandes einiger Isothermen von der Nadelelektrode.

III. KRITISCHE BETRACHTUNG DER UNTERSUCHUNGEN UND IHRER ERGEBNISSE

Das Bemühen im ersten Teil dieser Arbeit, die auftretenden Temperaturen möglichst genau zu bestimmen, führte nur zu dem Ergebnis, daß sie durch Versuche und Überlegungen auf ein Intervall eingengt wurden, da Messungen mit Thermometer und Thermoelement unmöglich sind, und chemische Reaktionen, Temperaturen im Gewebe und Grad Celsius genau zu messen, noch nicht bekannt sind.

Eine weitere Schwierigkeit dieser Arbeit lag in der Art des Untersuchungsmaterials, menschlichen Zahnpapillen, begründet. Diese können nur isoliert und nicht im Zusammenhang mit ihrer Umgebung untersucht werden, wodurch es schwierig wird, die Einstichrichtung genau zu bestimmen und den Schnitt senkrecht dazu zu führen. Sodann stehen sie nicht in unbegrenzter Anzahl zur Verfügung, denn es ist keinem Patienten zuzumuten, sich die Papillen erst stechen und dann sukzessiv direkt danach sowie ein, drei, acht und vierzehn Tage später entfernen zu lassen. Außerdem hätten, um exakte Vergleichsmöglichkeiten zu haben, zu jedem Zeitpunkt vier Papillen abgeschnitten werden müssen, nämlich je zwei, die mit der Einfach- und Dopp-elektrode behandelt worden sind, worauf sie in Formol bzw. in Carnoy fixiert worden waren, damit nach jeder Stichlungsart und zu jedem Zeitpunkt alle Färbungen und Versuche an den Papillen eines Individuums durchgeführt werden konnten. Auf diese Weise wäre es möglich gewesen, die unbekannten Faktoren wie unterschiedliche Reaktionslage der Personen und unterschiedlichen Strommengenaufnahme durch verschiedene Körpermassen auszuschalten. Schließlich hätten die Versuche erst an gesunden Papillen durch-

geführt werden müssen, um die Möglichkeit auszuschalten, daß die Veränderungen nach der Stichelung durch das bunte Bild verschiedenartiger Entzündungen verschleiert werden könnten.

Untersuchungen dieses Umfanges hätten aber nur an Zahnpapiellen von Tieren, am besten wohl Ratten, ausgeführt werden können. Dabei wiederum hätte berücksichtigt werden müssen, daß der Aufbau der Rattenpapille ein anderer ist als der der menschlichen Papielle. Außerdem würde es Schwierigkeiten bereiten, bei der unterschiedlichen Körpermasse von Mensch und Ratte sowie bei den ungenauen Dosierungsmethoden beim Diathermiestrom vergleichbare Strommengen zu applizieren.

Obwohl die Untersuchungen nur an dem beschränkten Material durchgeführt werden konnten, spricht nichts dagegen, daß die festgestellten Veränderungen direkt nach der Ignipunktur, wenn auch nicht in der genauen Ausdehnung, so doch im Prinzip, bei jeder mit vergleichbarer Stromstärke durchgeführten Stichelung auftreten, unabhängig davon, ob die Papille gesund oder in welcher Art auch entzündet war; denn die Erhitzung ist in erster Linie von der zugeführten Energie abhängig, und ihre Auswirkung wird von den Reaktionsmöglichkeiten des betroffenen Gewebes bestimmt. Auch die Antwort des Körpers auf die Alteration ist durch die Gesetze der Pathologie in den Grundzügen festgelegt und kann nur je nach der Reaktionslage des Körpers eine begrenzte Anzahl Modifikationen zeigen.

Aus diesen Gründen und um die Untersuchungen nicht noch komplizierter zu gestalten, wurde nur mit einer Stromstärke - Stufe 5 des Erbotoms K 25 - gearbeitet. Obwohl bei der Stichelung mit der Doppel Elektrode prinzipiell keine anderen Ergebnisse erwartet wurden als mit der Einfachelektrode, wurden doch beide Stichelungsarten durchgeführt, um zu prüfen, ob der von Coolidge, F. und Hine, M. (1958, S.299-301) angegebene Vorteil der Doppel Elektrode, eine genauere Durchführung der Koagulation zu erlauben als mit der Einfachelektrode, mit Recht besteht. Da aber erstens nachgewiesen werden konnte, daß bei der Einfachelektrode keine besondere Tiefenwirkung eintritt, sondern die Koagulation sich nur in einem sehr kleinen, genau begrenzten Raum abspielt, und zweitens gezeigt wurde, daß die Veränderungen des Gewebes nach der Stichelung mit der Doppel Elektrode nur stärker sind als mit der Einfachelektrode, können wir keinen Vorteil in ihrer Benutzung sehen.

Die Klärung der chemohistologischen Veränderungen des Bindegewebes konnte nicht weitergetrieben werden, weil noch keine Untersuchungen über die grundlegenden chemischen und physikalischen Vorgänge bei der Denaturierung

und über die Ursachen der Fluoreszenz vorliegen. Wenn solche Untersuchungen existierten, würde dies erheblich zur Klärung beitragen, warum die Fluoreszenz in dem koagulierten Gebiet verstärkt auftritt und die sauren Mucopolysaccharide nicht mehr nachweisbar sind. Solche Untersuchungen würden aber den Rahmen dieser Arbeit sprengen, genauso wie eine Klärung der Vorgänge bei den verschiedenen Färbungen und deren Beeinflußbarkeit.

Aus diesen Gründen konnten wir meist nur die Veränderung konstatieren, ohne sie hinreichen erklären und einer bestimmten Temperatur zuordnen zu können.

IV. ZUSAMMENFASSUNG

Die Aufgabe dieser Arbeit war es, die Veränderungen der Gingiva nach der Ignipunktur, wie sie bei der Parodontoseleichttherapie angewandt wird, zu untersuchen.

Als Untersuchungsmaterial standen die Serienschritte der Papillen von mehreren Patienten zur Verfügung (vgl. S. 28 ff. d. Arbeit), die mit der Einfach- oder Doppelelektrode des Diathermiegerätes Erbotom K 25 der Firma C. Erbe, Tübingen/Württ. bei einer mittleren Stromstärkeeinstellung gestichelt worden waren.

Im physikalischen Teil der Arbeit wurden die theoretischen Grundlagen der Erhitzung des Gewebes durch Diathermieströme erörtert und geklärt, von welchen Faktoren die Erhitzung abhängig ist. Durch die Gegenüberstellung der Wirkungsweise der Funkenstrecken- und Röhrenapparate wurde festgestellt, daß zwar die Hochfrequenzerzeugung bei beiden Apparatypen grundsätzlich verschieden ist, die Ergebnisse der histologischen Untersuchungen der von ihnen gewonnenen Präparate aber bedingt vergleichbar sind. Als Resultat der Untersuchungen zur Temperaturabschätzung konnte festgehalten werden, daß keine nennenswerte Tiefenwirkung eintritt, da die Temperatur mindestens mit der 4. Potenz der Entfernung von der Nadel abfällt, 70°C erreicht, 100°C wahrscheinlich aber nicht überschritten werden, und das Gewebe in der Form eines halben langgestreckten Ellipsoids innerhalb der Grenzen eines Millimeters auf jeder Seite der differentiellen Elektrode koaguliert wird.

Die histologischen Untersuchungen ergaben eine deutliche Änderung der Struktur sowie des färberischen Verhaltens. Das durch die Goldnerfärbung grau-violett gefärbte Epithel wurde violett bis ziegelrot. Das Bindegewebe

färbte sich nach der Spezialfärbung nach Ross and Walker nicht mehr blau, sondern gelb und verlor bei der Goldnerfärbung seinen grünen Farbton. Die Struktur des Epithels war in der obersten Schicht ganz verlorengegangen, und die Zellen der Basalschicht hatten sich zu Bündeln und Strängen geordnet. Das Bindegewebe erschien um den Stichkanal homogenisiert und verquollen. - Drei Tage nach der Stichelung war dort, wo sich der Einstich befunden hatte, ein nekrotischer Keil, um den eine reaktive Entzündung spielte. - Nach acht Tagen zeigte das Epithel Regenerate, und die Reste des nekrotischen Kollagens wurden dystrophisch verkalkt.

Die histochemische Untersuchung zeigte, daß der histologisch einheitlich erscheinende Bindegewebsbezirk um den Stichkanal in drei histochemisch verschieden reagierende Zonen zerfiel. Direkt um den Einstich fand sich ein schmaler, hell fluoreszierender Saum. Die Zone, in der die Doppelbrechung verlorengegangen war, war fast so breit wie das homogenisiert aussehende Gebiet, in dessen ganzer Ausdehnung die sauren Mucopolysaccharide nicht mehr nachweisbar waren, während die neutralen Mucopolysaccharide unverändert schienen.

V. LITERATURVERZEICHNIS

- Adrian, Walter: Zur Technik der Beseitigung von Zahnfleischtaschen.
Zahnärztliche Rundschau 39, 969-976, 1930.
- Allgöwer, M. und Siegrist, J.: Verbrennungen. Pathophysiologie, Pathologie,
Klinik, Therapie. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1957.
- Arera, Kurt: Die Reaktion des marginalen Parodontiums des Hundes nach
Zahnfleischrandabtragungen (Gingivektomie) durch die Einwirkung
von Diathermie (Hochfrequenzschnitt), Skalpell und Sulfuraeth.
Med.Diss. Münster 1956.
- Blunck, Friedrich-Albert: Histologische Untersuchungen über die Wirkung
des Diathermiestromes auf die Weichgebilde des Zahnes.
Med.Diss. Frankfurt/M. 1935.
- Coolidge, Edgar D. and Hine, Maynard K.: Periodontology, Philadelphia
1958.
- de Lerma, Baldassare: Die Anwendung von Fluoreszenzlicht in der Histoche-
mie. In: Handbuch der Histochemie, Bd. I, 1. Hrsg. v. Graumann,
Walther und Neumann, Karlheinz, Stuttgart 1958.
- Ebbers, Meinolf: Praktikum der Diathermie in der Zahnheilkunde. Leipzig
1936.
- Eisenlohr, Hermann: Histologische Untersuchungen über die Wirkung chirur-
gischer Diathermie auf apikal-ostitische Herde. Med.Diss. Frank-
furt/M. 1932.
- Falkenstein, Erich: Einwirkungen des Hochfrequenzstromes auf die menschi-
che Pulpa. Zeitschrift für Stomatologie 29, 1162-1178, 1931.
- Felix, Kurt: Physiologische Chemie. Heidelberg 1951.
- Feneis, H.: Gefüge und Funktion des normalen Zahnfleischbindegewebes.
Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 7, 467-476, 1952.
- Fischer, C. H.: Parodontium marginale, Erkrankungen, Klinik und Therapie.
In: Die Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Hrsg. v. Meyer, Wil-
helm, Bd. II, München/Berlin 1955.
- Flohr, Walter und Eugen: Die Anwendung der Diathermie in der Zahnheil-
kunde, Berlin 1930.
- Flohr, Walter: Die sogenannte medizinische und chirurgische Diathermie in
der Praxis des Zahnarztes. Zahnärztliche Rundschau 38, 1674-1679
und 1714-1719, 1929.
- Gebbert, A.: Über einen neuen kleinen Pulpa-Diathermieapparat. Zahn-
ärztliche Rundschau 40, 1284-1289, 1931.
- Goldman, Henry M. and Cohen, D. Walter: Periodontia. 4. Aufl. St. Louis
1957.

- Gottschewsky, G. H. M. : Die Methoden der Fluoreszenz und Ultraviolett-Mikroskopie und Spektroskopie in ihrer Bedeutung für die Zellforschung. Mikroskopie 9, 147-167, 1954.
- Grimsehl, Ernst: Lehrbuch der Physik. Hrsg. v. Schallreuter, W., Leipzig 1954.
- Hale, C. W. : Histochemical demonstration of acid polysaccharids in animal tissues. Nature 157, 157-802, 1946.
- Hamperl, H. : Die Fluoreszenzmikroskopie menschlicher Gewebe. Virchows Archiv 292, 1-51, 1934.
- Häupl, Karl und Lang, Josef: Die marginale Paradentitis, Berlin 1927.
- Häupl, Karl: Zur Histopathologie der chronischen Zahnfleischentzündung und Zahnlockerung. Österreichische Zeitschrift für Stomatologie 52, 281, 1955.
- Harndt, Ewald: Paradentitis und Paradentose. Leitfaden der Zahnbetterkrankungen. München 1950.
- Heiß, J. : Die medikamentöse Taschenbehandlung und ihre Abgrenzung gegenüber chirurgischen Eingriffen. Forum paradentologicum, Beilage zur Deutschen Zahnärztlichen Zeitschrift 6, 1283-1292, 1951.
- Henseler, Hans: Die chirurgische Diathermie in der allgemeinen und spezialistischen Praxis. Berlin 1929.
- Henseler, Hans und Prinz, H. H. : Die praktische Anwendung der Diathermie in der Zahnheilkunde. Berlin 1934.
- Hyder, Ch. M. : Gingivektomie durch Elektro-Austrocknung. Zahnärztliche Welt/Reform 60, 210 f., 1959.
- Immenkamp, Alois: Gewebeveränderung und Wundheilung nach Elektrokoagulation in der Mundhöhle. Vierteljahresschrift für Zahnheilkunde 49, 129-139, 1933.
- Immenkamp, Alois: Die Verwendung der Diathermieschlinge in der zahnärztlichen Chirurgie. Deutsche Zahnärztliche Wochenschrift 35, 573-587, 1932.
- Immenkamp, Alois: Ein Beitrag zur Frage der Gingivektomie mittels chirurgischer Diathermie. Zahnärztliche Rundschau 40, 2253 u. 2308, 1931.
- Index Merck, 9. Aufl., Darmstadt 1961.
- Keysser, Franz: Die Elektrochirurgie. Leipzig 1931.
- Kluczka, Josef: Die Leichttherapie der Paradentose. Österreichische Zeitschrift für Stomatologie 52, 291-295, 1955.
- Kowarschik, Josef: Die Diathermie. 6. Aufl., Wien, Berlin 1928.
- Kückens, H. : Über einige bei den Diathermieoperationen auftretenden Gewebeveränderungen und über ihre Bedeutung. Beiträge zur pathologischen Anatomie und zur allgemeinen Pathologie 85, 695-702, 1930.

- Kuntzen, H. und Vogel, W.: Histologische Untersuchungen über die Wirkung chirurgischer Diathermieströme. Archiv für klinische Chirurgie 164, 39-57, 1931.
- Laqueur, August und Müller, Otto: Leitfaden der Elektromedizin und der elektrischen Licht- und Wärmebehandlung. Halle a.S. 1951.
- Lehnartz, Emil: Chemische Physiologie. 11. Aufl., Berlin, Göttingen, Heidelberg 1959.
- Loiseleur, J. et Prudhomme, R. O.: Fluorescence des acides α -aminés consécutivement à l'action secondaire du formol. Bulletin de la Société de chimie biologique 24, 244-247, 1942.
- Mathis, Hermann: Die sogenannte Parodontose. Bücher für die zahnärztliche Praxis, Bd. 13, Wien 1948.
- Mayer, A.: Über Diathermieoperationen. Zentralblatt für Gynäkologie 53, 1555-1558, 1929.
- Mieremet, C. W. G.: Hautveränderungen durch Einwirkung des elektrischen Stromes. Klinische Wochenschrift 2, 1362-1364, 1923.
- Müller, G.: Über eine Vereinfachung der Reaktion nach Hale (1946). Acta histochemica 2, 68-70, 1955/56.
- Müller, Otto und Schliephake, Erwin: Einführung in die Elektromedizin. Stuttgart 1961.
- Münzesheimer, Fritz: Die Wurzelbehandlung mit Hochfrequenzstrom. Berlin 1931.
- Ogus, W. J.: The Elimination of the Pyorrheal Pocket by Electrosurgery. American Journal of Orthodontics, Abt.: Oral Surgery 27, 135-144, 1941.
- Orban, Balint: Gewebeveränderungen im Periodontium nach chirurgischer Diathermie. Zeitschrift für Stomatologie 31, 1154-1158, 1933.
- Parma, Cestmir: Parodontopathien. Zahnärztliche Fortbildung, Hrsg. v. Reichenbach, E., Heft 13, Leipzig 1960.
- Pearse, Everson: Histochemistry. 2. Aufl., London 1960.
- Powers, H. H.: Control of Periodontal Disease by Electrocoagulation. Dental Digest 43, 337-339, 1937.
- Raida, Lothar: Möglichkeiten und Aussichten der lokalen Parodontosebehandlung. Med. Diss. Düsseldorf 1953.
- Rateitschak, K.: Konservative Behandlung parodontaler Taschen. Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 13, 671-680, 1958.
- Ribbert, H.: Lehrbuch der allgemeinen Pathologie und der pathologischen Anatomie. Hrsg. v. Hamperl, Herwig, 16. Aufl., Berlin 1942.

- Riethe, Peter: Der Weg Hildegards von Bingen zur Medizin unter besonderer Berücksichtigung der Zahn- und Mundleiden. Med.Diss. Mainz 1952.
- Romeis, Benno: Mikroskopische Technik, München 1948.
- Ross, O. A. and Walker, C. J.: Histochemical studies of thermal injury on rat skin. Proceedings of the Society of Experimental Biology and Medicine 82, 379-381, 1953.
- Rumpel, C.: Kritische Gedanken über die moderne Parodontosen-Behandlung. Zahnärztliche Rundschau 38, 1-6, 1929.
- Saghirian, Levon M.: Periodontosis: treatment by surgical and electrosurgical gingivoplasty. The Journal of the American Dental Association 38, 67-78, 1949.
- Saghirian, Levon M.: Electrosurgical gingivoplasty. Oral Surgery 2 1549-1557, 1949.
- Schmidt, W. E.: Widerstand des menschlichen Körpers gegen Hochfrequenzströme bei Diathermiebehandlung. Archiv für Elektrotechnik 24, 202-215, 1930.
- Schmidt, Wilhelm Josef: Wesen und Bedeutung polarisationsmikroskopischer Untersuchungen an tierischen Geweben. Behringwerk-Mitteilungen, Heft 28, 84-97, 1954.
- Schmidt, Wilhelm Josef: Anwendung der Polarisationsmikroskopie in der Histochemie. In: Handbuch der Histochemie, Bd. I, 1, Hrsg. v. Graumann, Walther und Neumann, Karlheinz, Stuttgart 1958.
- Schmidt, Wilhelm Josef: Polarisationsoptische Erforschung des submikroskopischen Baues tierischer Zellen und Gewebe. Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft 41, 303-389, 1939.
- Schümmelfeder, N.: Fluoreszenzmikroskopische Histochemie, Bericht über das IV. Symposium der Arbeitsgemeinschaft für Histochemie, Acta histochemica 3, 254 f., 1956/57.
- Sjöstrand, F.: Über die Eigenfluoreszenz tierischer Gewebe mit besonderer Berücksichtigung der Säugetiere. Acta Anatomica, Suppl. 1, 1-136, 1944.
- Trefz, H.: Eine Darstellung des Parodontoseproblems nach französischen Forschungsergebnissen unter spezieller Betrachtung der Therapie. Med.Diss. Mainz 1951.
- Wolfsohn, M. D.: Periodontal Disease and Electro Coagulation. The Journal of the American Dental Association 26, 1294, 1939.

Es ist mir ein Bedürfnis, allen denen Dank zu sagen, die mir bei der Durchführung meiner Arbeit behilflich waren.

Insbesondere danke ich

Herrn Priv. Doz. Dr. Dr. P. Rieth, Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, für die Überlassung des Themas und seine allzeit bereite Unterstützung,

Herrn Dipl. Phys. K.-H. Manegold, Max-Planck-Institut für Biophysik, Frankfurt/M., für die Beratung beim physikalischen Teil der Arbeit,

Herrn Professor Dr. H.-G. Fassbender, Pathologisches Institut der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, für die Hilfe bei der Auswertung der histologischen Präparate und

Herrn Priv. Doz. Dr. F. Ehrenbrand, Anatomisches Institut der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, für seinen Beistand bei den histochemischen Untersuchungen.

LEBENS LAUF

Ich, Irene Helene Huberta Thielemann, wurde am 28. Dezember 1938 in Frankfurt am Main als zweite Tochter des Zahnarztes Prof. Dr. Dr. Konrad Thielemann und seiner Ehefrau Dr. Emma Thielemann, geb. Keller, geboren.

Im Herbst 1944 trat ich in die Volksschule in Gelnhaar in Oberhessen ein und besuchte dann nacheinander die Volksschulen in Dornholzhausen bei Bad Homburg v.d. H., Kassel und zuletzt wieder in Dornholzhausen. Ab Ostern 1949 besuchte ich das Realgymnasium für Mädchen in Bad Homburg v.d. H., dann das Internat der Anna-Schmidt-Schule in Niedererlenbach bei Bad Vilbel und zuletzt die Schiller-Schule in Frankfurt am Main, wo ich im März 1958 die Reifeprüfung ablegte.

Das ärztliche Studium begann ich im Sommersemester 1958 an der Johann Wolfgang Goethe-Universität in Frankfurt am Main, an der ich im Februar 1959 die naturwissenschaftliche Vorprüfung für Ärzte mit "Gut" bestand. Seit dem Sommersemester 1959 bin ich an der Johannes Gutenberg-Universität immatrikuliert. Im März 1961 bestand ich die ärztliche Vorprüfung mit "Sehr gut" und im April 1961 die zahnärztliche Vorprüfung mit "Sehr gut". Im Wintersemester 1963 möchte ich die zahnärztliche Prüfung ablegen.

